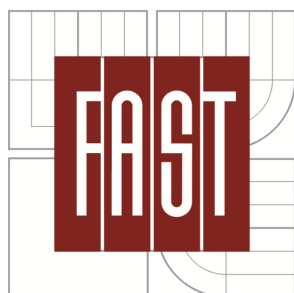


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

## NÍZKOKAPACITNÍ VOZOVKY

LOW-VOLUME ROADS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VLASTIMIL KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Vlastimil Kučera

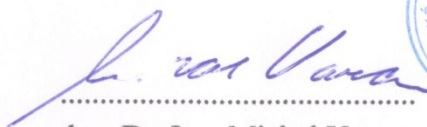
**Název** Nízkokapacitní vozovky

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

**Datum zadání** 30. 11. 2015  
**bakalářské práce**

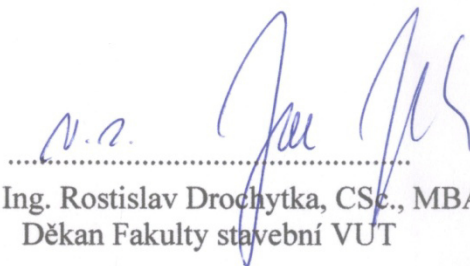
**Datum odevzdání** 27. 5. 2016  
**bakalářské práce**

V Brně dne 30. 11. 2015



doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu



  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací

ČSN EN 13108 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - sada norem

ČSN 73 6121 Stavba vozovek - Vrstvy z hutněných asfaltových směsí - Provádění a kontrola shody

Firemní materiály

Internetové zdroje

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Cílem práce bude v teoretické rovině zpracovat problematiku navrhování vozovek s velmi nízkým dopravním zatížením. Na základě zahraničních zkušeností budou hledány vhodné varianty konstrukcí vozovek pro tuzemské podmínky.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

*Hýzl Petr*

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

prof. Ing. Rostislav Drochýzka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

doc. Dr. Ing. Michal Vranus  
Vedoucí ústavu

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou nízkokapacitních vozovek a přináší základní poznatky z oblasti jejich navrhování. Nízkokapacitní komunikace tvoří více než polovinu všech pozemních komunikací na světě a více než 65 % kilometrů komunikací v České republice. Jde převážně o lesní cesty, cyklostezky, turistické cesty a polní cesty. Většina literatury zabývající se tímto tématem vznikla na území USA, proto byla jako hlavní zdroj informací pro tuto práci použita americká literatura.

Práce je rozdělena na několik částí, z nichž první se věnuje geometrickému návrhu nízkokapacitních komunikací, kde jsou uvedeny postupy pro získání parametrů komunikace, které se následně použijí pro návrh trasy komunikace. Druhá část přináší malé srovnání stmelěného a nestmelěného krytu, seznamuje s návrhovými kritérii, s běžně používanými materiály a ukazuje možné postupy návrhu. Třetí je věnována poruchám krytu, příčinám vzniku těchto poruch a jejich možným opravám. Čtvrtá část se zabývá údržbou nízkokapacitních komunikací.

## **Klíčová slova**

nízkokapacitní vozovky, nestmelěný kryt, šterk, údržba, poruchy, ADT

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the problems of low-volume roads and brings basic knowledge of their design. Low-volume roads form more than a half of roads in the world and more than 65 % kilometers of the roads in the Czech Republic. It is mostly forest trails, bike paths, hiking trails and agriculture roads. Most of the literature about this topic arose in the USA, therefore, as a main source of the information for this thesis an American literature was used.

The thesis is divided into several parts, the first one is dedicated to the geometric design of low-volume roads, where the procedures for obtaining parameters of roads, which are subsequently used for design communication routes, are introduced. The second part brings a comparison between paved and unpaved roads and introduces the design criteria of commonly used materials and a possible plan of approach. The third part is dedicated to the failures of the surface, causes of these failures and their possible repairs. The fourth part deals with the maintenance of low-volume roads.

## **Keywords**

low-volume roads, unpaved, gravel, maintenance, defects, ADT

## **Bibliografická citace VŠKP**

Vlastimil Kučera *Nízkokapacitní vozovky*. Brno, 2016. 61 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce  
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2016

.....

podpis autora

Vlastimil Kučera

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval především mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování práce.



## Obsah

1	Úvod .....	12
2	Cíl práce .....	13
3	Nízkokapacitní komunikace v ČR.....	14
4	Nízkokapacitní komunikace v USA .....	15
5	Geometrický návrh .....	16
5.1	Funkční klasifikace .....	16
5.1.1	Mimoměstské komunikace .....	16
5.1.2	Městské komunikace .....	17
5.2	Základní parametry návrhu.....	18
5.2.1	Návrhová rychlost .....	18
5.2.2	ADT .....	18
5.3	Rozhledy .....	19
5.3.1	Délka rozhledu pro zastavení .....	19
5.3.2	Rozhled ve směrovém oblouku .....	20
5.3.3	Rozhledy v křižovatkách .....	21
5.4	Směrové řešení .....	23
5.4.1	Klopení .....	23
5.4.2	Součinitel bočního tření .....	24
5.4.3	Minimální poloměr směrového oblouku .....	24
5.5	Výškové řešení .....	25
5.5.1	Podélný sklon .....	25
5.5.2	Návrh výškového oblouku .....	26
5.6	Dopravní značení .....	29
5.6.1	Varovné dopravní značky.....	29
5.6.2	Informační dopravní značky.....	30
5.6.3	Vodorovné značení.....	30
5.6.4	Dopravní značení pro železniční přejezdy .....	30
5.6.5	Dočasné dopravní značení.....	30
5.6.6	Dopravní značení pro oblast školy .....	30

6	Konstrukce vozovky .....	31
6.1	Kritéria návrhu krytu vozovky .....	32
6.1.1	Provedení .....	32
6.1.2	Provozeroschopnost .....	32
6.1.3	Hloubka deformace .....	32
6.1.4	Spolehlivost .....	32
6.1.5	Údržba .....	32
6.1.6	Provozní ztráty .....	33
6.1.7	Rekonstrukce .....	33
6.2	Návrh .....	33
6.2.1	Nekonstrukční návrh .....	33
6.2.2	Konstrukční návrh .....	34
6.2.3	Minimální tloušťka vozovky .....	35
6.2.4	Materiál krytu vozovky .....	35
6.2.5	Testování .....	37
7	Poruchy a problémy vozovek s netmeleným krytem .....	39
7.1	Zvlněný povrch .....	39
7.2	Výtluky .....	41
7.3	Vyjeté koleje .....	42
7.4	Trhliny .....	43
7.5	Eroze .....	44
7.6	Kluzkost .....	45
7.7	Prašnost .....	45
8	Údržba .....	47
8.1	Běžná údržba .....	47
8.2	Údržba příčného sklonu .....	49
8.3	Údržba křižovatek .....	50
8.3.1	Křížení dvou cest s nestmeleným krytem .....	50
8.3.2	Křížení s cestou se stmeleným krytem .....	51
8.4	Klopení vozovky .....	52
8.5	Kontrola eroze .....	53
8.6	Kontrola prašnosti a stabilizace .....	53

8.7	Stabilizace.....	53
8.7.1	Chloridy.....	53
8.7.2	Pryskyřice.....	54
8.7.3	Přírodní jíly .....	54
8.7.4	Portlandský cement .....	54
8.7.5	Organické neropné oleje.....	54
8.8	Závěr.....	55
9	Seznam literatury.....	56
10	Seznam zkratk .....	58
11	Seznam obrázků .....	59
12	Seznam vztahů.....	60
13	Seznam grafů a tabulek .....	61

# 1 Úvod

Nízkokapacitní komunikace (low-volume roads) jsou podle zahraniční literatury [2] definovány jako komunikace, které mají ADT (průměrný denní počet vozidel na komunikaci) menší než 400 vozidel za den. Tvoří více než polovinu komunikací světové sítě pozemních komunikací a více než 65 % komunikací v České republice. Jsou to převážně lesní cesty, cyklostezky, turistické cesty a polní cesty.

I přes takto velký podíl, byla v minulosti věnována pozornost převážně vysokokapacitním komunikacím. Pro nízkokapacitní vozovky nebyly nikdy stanoveny tak přísné předpisy, ani nebyl k dispozici dostatek literatury, aby je bylo možné spolehlivě navrhovat, což se odráželo na stavu tehdejších nízkokapacitních vozovek, které často nevydržely návrhovou životnost.

Při návrhu se vycházelo z podkladů primárně určených pro návrh vysokokapacitních vozovek a tak zde určité specifické požadavky nízkokapacitních vozovek nebyly vůbec obsaženy. Jedním z nich je například použití nestmelených vrstev do krytu vozovky. Dnes se u nás začínají objevovat nové metodiky návrhu nízkokapacitních komunikací, které čerpají zkušeností ze zahraničí.

Je potřeba si uvědomit, proč se nízkokapacitní komunikace budují, že je to zejména kvůli úspoře peněz a aby tomu tak bylo, musí být jejich celkové náklady na pořízení, provoz a údržbu nižší než celkové náklady komunikací vysokokapacitních. I sebelepší materiál stárne a unavuje se, takže myšlenky jako je použití „bezúdržbového“ krytu vozovky s vidinou toho, že se mi tato vyšší počáteční investice postupem času vrátí, nemusí být zcela správné. Pokud totiž ADT na této komunikaci bude dosahovat velmi nízkých hodnot, budou opotřebení provozem vozidel a tím pádem i potřebná údržba tak nízké, že se vyšší náklady dražšího krytu během jeho životnosti nevrátí. Proto by se na nestmelené kryty nemělo zapomínat.

Návrh nízkokapacitních vozovek s nestmeleným krytem se uplatňuje i při navrhování v chráněných krajinných oblastech, kde se tento typ vozovky lépe začlení do okolního prostředí. Je zde velmi důležité věnovat zvýšenou pozornost dopadu komunikaci na životní prostředí.

Správně naplánovaná, umístěná a postavená komunikace má minimální dopad na životní prostředí, je dlouhodobě úsporná s minimálními náklady na údržbu a opravy.

## **2 Cíl práce**

Studium a zpracování informací týkajících se nízkokapacitních vozovek a sestavení dokumentu, který alespoň částečně zasvěťí čtenáře do základních problematik návrhu. Cílem není poskytnout přesný postup, jak navrhnout nízkokapacitní vozovky, ale spíše seznámit s faktory, které tento návrh ovlivňují a pomoci tak udělat si představu o tom, jak se tento návrh liší od návrhu vysokokapacitních vozovek, na který jsme zvyklí.

### 3 Nízkokapacitní komunikace v ČR

Zatímco dálnice, rychlostní komunikace a silnice I, II. a III. třídy představovaly v roce 2009 cca 55 700 km, délka lesních cest je zhruba trojnásobná - 160 000 km a na její údržbu a opravy je vydáváno cca 55 % celkové částky na silniční komunikace. [15]

I když celková délka nízkokapacitních komunikací několikanásobně převyšuje celkovou délku komunikací vysokokapacitních, neexistuje u nás příliš mnoho literatury, předpisů ani norem použitelných pro návrh nízkokapacitní vozovky. Jedním z dostupných materiálů pro konstrukci vozovky je materiál od Ministerstva zemědělství ČR Katalog vozovek polních cest [18], který navazuje na TP 170 [4]. Tento materiál však není možné použít vždy, nezahrnuje totiž například návrh sezónních komunikací a také potřebné informace pro návrh vozovek s nestmeleným krytem.

V roce 2015 byla schválena literatura, která vznikla na Mendelově univerzitě v Brně, Metodický průvodce návrhem a realizací vozovek nízkokapacitních komunikací [12]. Zabývá se především technologickou stránkou výstavby. Jeho výhodou je, že vychází ze zahraniční literatury a jsou zde tedy uvedeny odzkoušené metody, které jsou použitelné i u nás.

## **4 Nízkokapacitní komunikace v USA**

Statistiky [6] z roku 2012 ukazují, že 1.42 milionů mil komunikací, což je asi 35 % všech komunikací v USA, jsou vozovky z nestmelených materiálů. V některých státech USA dokonce zabírají více než polovinu všech komunikací.

V USA se navrhováním nízkokapacitních komunikací zabývají již delší dobu, mají proto s danou problematikou daleko větší zkušenosti. Navrhuje se zde mnohem více vozovek s nestmeleným krytem než u nás, proto je dobré zejména pro návrh těchto krytů čerpat z americké literatury.

Většinu návodů a předpisů týkajících se návrhu komunikací v USA vytváří americká organizace AASHTO, která mimo jiné vytváří předpisy pro leteckou, kolejovou a lodní dopravu. Podle jejich předpisů se řídí většina států v USA.

## 5 Geometrický návrh

Nízkokapacitní komunikace jsou v USA klasifikovány jako místní komunikace s návrhovou intenzitou dopravy 400 vozidel za den a méně. Téměř 80 % komunikací v USA má denní intenzitu dopravy do 400 vozidel za den. Geometrický návrh těchto komunikací představuje unikátní výzvu, protože velmi nízká intenzita dopravy a malé množství dopravních nehod způsobují, že metody běžně používané na vysokokapacitních komunikacích jsou zde ekonomicky nevýhodné [2].

### 5.1 Funkční klasifikace

Před vlastním návrhem by mělo být určeno, je-li oblast, v níž budeme navrhovat, městská nebo venkovská (mimoměstská), protože provoz a omezení se na městských a mimoměstských komunikacích zásadně liší [1].

Na mimoměstských komunikacích se většinou jezdí vyššími rychlostmi, silniční síť bývá jednodušší, nepohybuje se zde tolik chodců a komunikace mívá mnohdy i jiné využití.

Naopak na městských komunikacích musí být omezena rychlost a také je potřeba dbát na úpravu přednosti.

#### 5.1.1 Mimoměstské komunikace

- hlavní přístupové,
- vedlejší přístupové,
- průmyslové, hospodářské,
- zemědělské,
- cesty pro rekreaci,
- těžařské cesty.

##### 5.1.1.1 Hlavní přístupové cesty

Plní dvě funkce. Zajišťují přístup k sousedním nemovitostem a zároveň vytvářejí spojení s komunikacemi vyšší třídy. Většinou mívají stmelový kryt a umožňují plynulou jízdu relativně vysokými rychlostmi.

##### 5.1.1.2 Vedlejší přístupové cesty

Slouží jako přístupové cesty k přilehlým nemovitostem. Bývají obvykle krátké a úzké, ale musí vždy umožnit průjezd velkých vozidel jako je např.: popelářský nebo hasičský vůz. Na konci mnohdy bývá obratiště.



### **5.1.1.3 Průmyslové cesty**

Jsou to v podstatě příjezdové cesty do továren a jiných průmyslových objektů. Zajišťují spojení s místní dopravní sítí. Jsou pojížděny převážně těžkými nákladními vozidly.

### **5.1.1.4 Zemědělské cesty**

Cesty ve venkovských oblastech sloužící převážně jako příjezdové cesty pro zemědělskou techniku na pole, kde se většina provozovaných vozidel pohybuje nízkou rychlostí. Cesty bývají využívány sezónně. Při návrhu je nutné počítat s tím, že zde musí projet i velmi široká vozidla jako například kombajn. Cesty mívají obvykle nestmelený kryt.

### **5.1.1.5 Cesty pro rekreaci**

Jedná se o cesty v parcích, kempech, rekreačních oblastech nebo také o turistické cesty. Můžeme zde očekávat vysoký sezónní ADT, tvořený z velké části obytnými vozy a osobními automobily s přívěsy.

### **5.1.1.6 Těžařské cesty**

Cesty s nestmeleným krytem, které jsou využívány výhradně vozidly souvisejícími s těžební činností. Nejsou přístupné veřejnosti, jezdí zde převážně profesionální řidiči. Doprava je mnohdy řízena pomocí radiokomunikace mezi řidiči, což umožňuje navrhnout komunikaci jako jednopruhovou.

## **5.1.2 Městské komunikace**

- hlavní přístupové,
- příjezdové cesty k domům,
- průmyslové.

### **5.1.2.1 Hlavní přístupové komunikace**

Stejně jako hlavní přístupové cesty v mimoměstských oblastech mají dvojí funkci. Zajišťují přístup k sousedním nemovitostem a vytvářejí spojení se komunikacemi vyšší třídy. Jejich délka je obecně kratší než u mimoměstských, ale zato je zde vyšší intenzita provozu.

### **5.1.2.2 Příjezdové cesty k domům**

Užívají je jen obyvatelé domů a jejich hosté. Velká a těžká vozidla jsou zde vzácná.

### **5.1.2.3 Průmyslové cesty**

Jsou většinou krátké. Doprava je tvořena a ovlivněna těžkými vozidly. Tyto cesty zajišťují spojení průmyslových objektů s místní silniční sítí.

## 5.2 Základní parametry návrhu

### 5.2.1 Návrhová rychlost

Je to smluvní rychlost, která je použita k určení geometrických vlastností komunikace během návrhu.

Nízká rychlost - 0-70 km/h

Vysoká rychlost - více než 70 km/h

**Tab. 1 – minimální návrhové rychlosti pro nízkokapacitní vozovky [16]**

**Minimální návrhové rychlosti pro nízkokapacitní vozovky [MPH]**

Typ komunikace	Terén		
	rovinatý	kopcovitý	homatý
hlavní přístupová	45	45	45
vedlejší přístupová	45	45	30
průmyslová	30	30	30
zemědělská	30	20	20
pro rekreaci	30	20	20
těžařská	30	20	20

### 5.2.2 ADT

ADT = průměrný denní počet vozidel na komunikaci

Komunikace je obvykle navrhována na ADT, který se očekává 20 let po vybudování. Roční nárůst je poměrně mírný, na některých místech dochází dokonce k poklesu. Je vhodné sledovat rozvoj a plánování v okolí komunikace, které by mohlo mít za následek výrazné zvýšení denního počtu vozidel. Tam, kde se ADT v různých ročních obdobích podstatně mění, je potřeba navrhovat na ADT ve vrcholné sezoně. Pokud očekávaná hodnota překročí 400 vozidel za den, pak by komunikace neměla být navržena jako komunikace nízkokapacitní [1].

Návrh nízkokapacitních komunikací by měl být správným kompromisem mezi dvěma faktory:

- konstrukcemi vozovky a jejich rozdíly v pořizovací ceně a náklady na údržbu,
- odhadovanými vlivy na nehodovost
- Akceptovatelné riziko nehody:

- Pro městské oblasti je brána za akceptovatelnou jedna nehoda na jeden kilometr každých 6 až 10 let.
- U mimoměstských je to jedna nehoda na jeden kilometr každých 10 až 15 let.
- Riziko nehody se určuje z výzkumů, které zkoumají vztahy mezi geometrickými návrhovými prvky a frekvencí a závažností dopravních nehod. Je jasné, že nehodovost bude na každém úseku jiná.

Další faktory jako je úroveň obsluhy nebo třeba pohodlí řidiče nejsou u takových komunikací podstatné.

## 5.3 Rozhledy

### 5.3.1 Délka rozhledu pro zastavení

Je to vzdálenost, na které musí být běžný řidič s běžným vozidlem, jedoucí návrhovou rychlostí, schopen zabránit kolizi s objektem, který mu stojí v cestě. Obvykle se jako objekt uvažuje stojící vozidlo, s tím se však na komunikaci s nízkou intenzitou dopravy setkáme velmi vzácně, většinou překážku tvoří menší objekty, které lze objet. Komunikace s nízkou intenzitou dopravy jsou schopny bezpečně sloužit i s kratšími délkami rozhledů pro zastavení, než jsou běžně používané u frekventovaných komunikací a tak se délky rozhledů zkracují nebo je možno uvažovat vzdálenost, na které je řidič schopen dostatečně zpomalit, aby mohl provést vyhýbací manévr [1].

Délka rozhledu pro vyhýbací manévr

- Pro komunikace s  $ADT < 100$
- Pro komunikace s  $ADT 100 < 250$  v málo riskantních oblastech

Zkrácená délka pro zastavení

- Pro komunikace s  $ADT 100 < 250$  ve více riskantních oblastech
- Pro komunikace s  $ADT 250 < 400$

Vzdálenost nutná pro zastavení se skládá ze dvou částí:

- **Reakční vzdálenost**

Vzdálenost, kterou urazí vozidlo od okamžiku, kdy řidič uvidí překážku do okamžiku, kdy začne brzdít. Je dána součinem rychlosti vozidla a reakční doby řidiče.

- **Brzdná dráha**

Vzdálenost potřebná pro zastavení vozidla od okamžiku, kdy řidič stlačí brzdový pedál

Když uvažujeme vzdálenost pro vyhnutí, jsou základními částmi reakční doba a doba samotného manévru.

Aktuální vzorec pro výpočet délky rozhledu pro zastavení

(1)

$$d = 0.278Vt + \frac{v^2}{a}$$

d - délka rozhledu pro zastavení [m]

t - reakční doba řidiče [s] (standardně 2,5 s)

V - návrhová rychlost [km/h]

a - decelerace [ $\text{m/s}^2$ ] (standardně  $3,4 \text{ m/s}^2$ )

Při výpočtu zkrácené délky rozhledu pro zastavení se používá reakční doba 2s a decelerace  $4.1 \text{ m/s}^2$ .

### 5.3.2 Rozhled ve směrovém oblouku

Je potřeba zajistit viditelnost na vnitřní straně směrového oblouku. Jestliže se na vnitřní straně nacházejí objekty, které brání rozhledu, je potřeba tyto objekty odstranit. Pokud tyto objekty odstranit nelze, upraví se směrové vedení komunikace.

Obecně se pro návrh používá vzorec pro výpočet minimální šířky bez překážek, na kterou musí být zaručený rozhled z každého místa směrového oblouku. Geometricky se jedná o výšku kruhové úseče o poloměru shodném s poloměrem směrového oblouku a délce kruhové úseče rovné délce rozhledu pro zastavení.

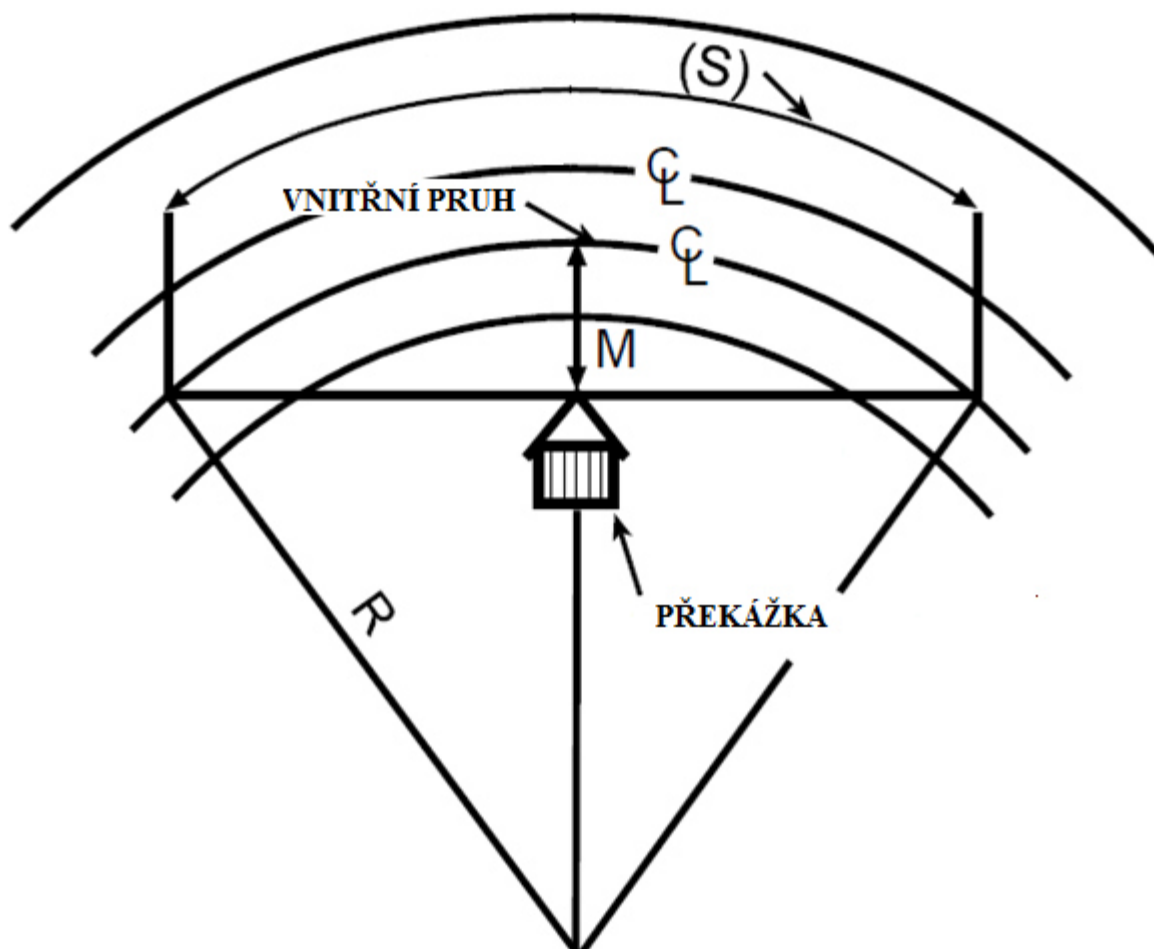
(2)

$$M = R \left( 1 - \cos \frac{28.65S}{R} \right)$$

M - šířka bez překážek [m]

R - poloměr směrového oblouku [m]

S - délka rozhledu pro zastavení [m]



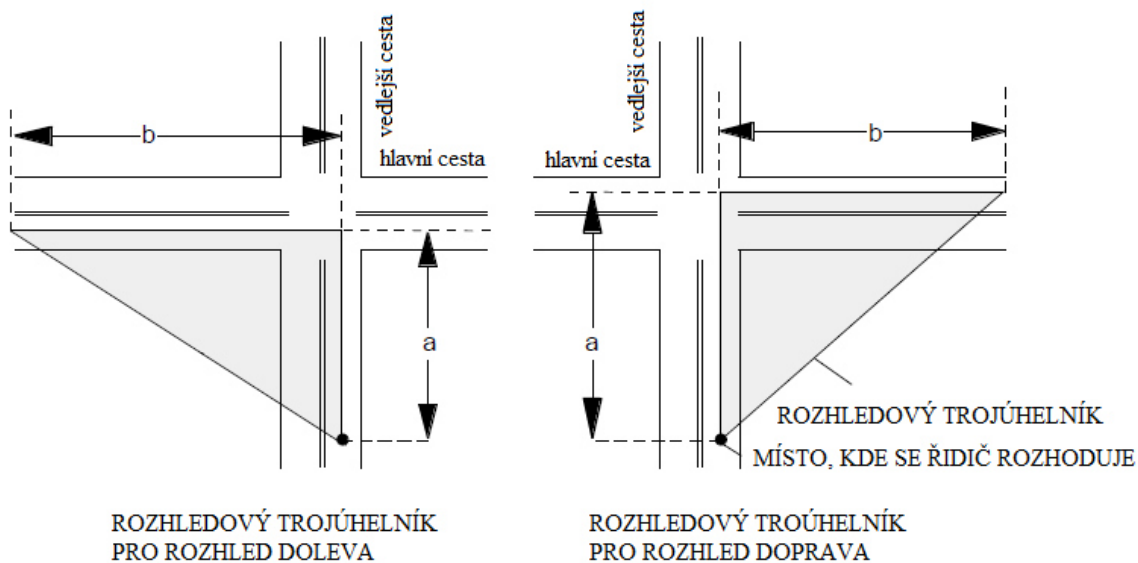
Obrázek 1 - směrový oblouk [1]

### 5.3.3 Rozhledy v křižovatkách

Rozhledům na křižovatkách je třeba věnovat zvýšenou pozornost, jejich správným návrhem je možné předcházet mnoha dopravním nehodám. Při návrhu si musíme uvědomit, jak bude křižovatka řízena a podle toho zajistit patřičné rozhledy tak, aby vozidlo, které má dávat přednost mohlo včas zareagovat.

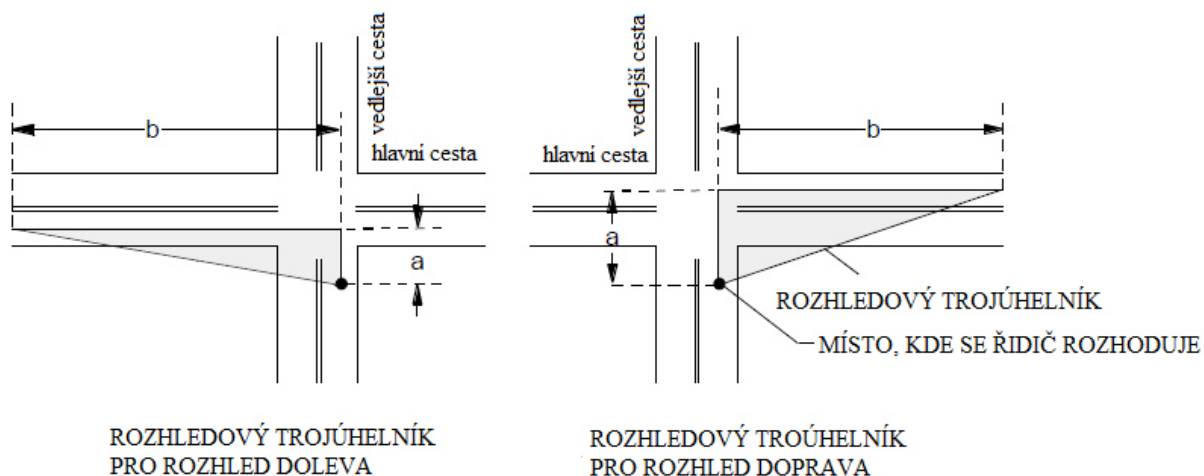
#### Rozhledové trojúhelníky

Jsou to plochy křižovatky, ve kterých nesmí být žádné překážky, které by řidiči bránily ve výhledu.



**Obrázek 2 - rozhledové trojúhelníky pro „Dej přednost v jízdě“ [2]**

Každý kvadrant křižovatky by měl obsahovat rozhledový trojúhelník, který přijíždějícímu řidiči dávajícímu přednost umožňuje s dostatečným předstihem vidět přijíždějící vozidlo a dává mu možnost včas vyhodnotit situaci a případně bezpečně zastavit před hranicí křižovatky [2].



**Obrázek 3 - rozhledové trojúhelníky pro „Stůj, dej přednost v jízdě“ [2]**

Druhý typ rozhledových trojúhelníků slouží řidičům, kteří mají dopravní značkou přikázáno zastavit na hranici křižovatky a chtějí se napojit nebo křížit směr, jež zastavení přikázáno nemá [2].

## Identifikace překážek bez použití rozhledových trojúhelníků

Pokud je to jen možné, tak by všechny objekty vyčnívající nad úroveň přilehlé komunikace, které řidiči brání ve výhledu, měly být odstraněny nebo sníženy.

Při rozhodování se, zda objekt ve výhledu představuje pro řidiče překážku, uvažujeme, že řidič, který má oči ve výšce 1080 mm nad vozovkou, by měl vidět objekt o stejné výšce nacházející se na křížené komunikaci. Tím, že uvažujeme objekt o stejné výšce jako je výška očí řidiče, můžeme za objekt považovat řidiče ve druhém vozidle a tím zaručíme, že i řidič ve druhém vozidle uvidí první vozidlo.

### 5.4 Směrové řešení

Základem návrhu směrového oblouku je určení vztahů mezi návrhovou rychlostí, poloměrem směrového oblouku, klopením a součinitelem bočního tření.

Fyzikálním popisem jízdy vozidla směrovým obloukem byly zjištěny základní vztahy mezi jednotlivými parametry potřebnými pro návrh [2].

(3)

$$\frac{0.01e + f}{1 - 0.01ef} = \frac{v^2}{gR} = \frac{0.0079V^2}{R} = \frac{V^2}{127R}$$

e – hodnota příčného sklonu [%]

f – součinitel bočního tření

v – rychlost vozidla [m/s]

V – rychlost vozidla [km/h]

g – gravitační zrychlení, 9.81 [m/s<sup>2</sup>]

R – poloměr směrového oblouku měřený k těžišti vozidla [m]

#### 5.4.1 Klopení

Z předchozího vzorce vyplývá, že větší hodnota příčného sklonu má příznivý vliv na rychlost, kterou můžeme bezpečně projet směrovým obloukem, což je pravda, nicméně musíme také myslet na to, že neočekávané okolnosti mohou řidiče přinutit ke snížení rychlosti průjezdu směrového oblouku, či dokonce k zastavení v něm a v tomto případě může příliš velký příčný sklon způsobit sklouznutí vozidla do středu směrového oblouku a to zejména pokud je povrch namrzlý nebo pokryt sněhovou pokrývkou. U vozidel s vysoko položeným těžištěm působí větší část tíhové síly na kola ve vnitřní části směrového oblouku a při extrémní hodnotě klopení může dojít k převrácení vozidla. Proto je nutné maximální hodnoty klopení omezit. Pro nestmelené kryty má velké klopení nepříznivé vlastnosti také z hlediska eroze.

Maximální přípustná hodnota příčného sklonu je 12 procent a může se použít pouze v oblastech, kde se nepřepokládá výskyt sněhu ani ledu. Pro komunikace s nízkou intenzitou

dopravy volíme hodnotu příčného sklonu nižší, většinou do 8 procent, protože velký sklon by řidiče sváděl k rychlé jízdě, což by vedlo k velké ztrátě materiálu v tomto směrovém oblouku. Příčný sklon 8 procent je rovněž maximální hodnota pro sněhové oblasti. Také vozidla údržby mají s udržováním velkého sklonu problémy [2].

#### 5.4.2 Součinitel bočního tření

Tento součinitel vyjadřuje potřebné tření pro projetí směrového oblouku o poloměru  $R$ , příčném sklonu  $e$  rychlostí  $V$ . Horní hranice je pro nás hodnota, kdy se blížíme součiniteli adheze pneumatiky. Měli bychom pamatovat na to, že součinitel adheze docela výrazně klesá v závislosti na rychlosti. V návrhu by se mělo vždy počítat s takovým součinitelem, aby nedošlo ke smýkání.

(4)

$$f = \frac{V^2}{127R} - 0.01e$$

$f$  – součinitel bočního tření

$V$  – rychlost vozidla [km/h]

$R$  – poloměr směrového oblouku [m]

$e$  – příčný sklon [%]

#### 5.4.3 Minimální poloměr směrového oblouku

Minimální poloměr pro danou návrhovou rychlost je určen pomocí maximálního příčného sklonu a maximální hodnoty součinitele bočního tření.

(5)

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(0.01e_{max} + f_{max})}$$

$R_{min}$  – minimální poloměr směrového oblouku [m]

$e_{max}$  – maximální povolený příčný sklon [%]

$f_{max}$  – maximální hodnota součinitele bočního tření

Těchto doporučení se však při navrhování komunikací s nízkou intenzitou dopravy nemusíme striktně držet. Na komunikacích, kde neočekáváme velké množství nákladních vozidel nebo například vysoké sezonní intenzity, můžeme dosáhnout přijatelných provozních podmínek i s menšími poloměry směrových oblouků. Zmenšení hodnoty minimálního poloměru dosáhneme redukcí návrhové rychlosti [2].



- **Mimoměstské komunikace s ADT do 250 vozidel za den**

Návrhová rychlost pro výpočet minimálního poloměru může být redukována až o 20 km/h, ovšem pouze v případech, kdy je původní návrhová rychlost větší nebo rovna 70 km/h. Pro nižší rychlosti redukuje postupně o 15 km/h., 10 km/h a 5 km/h.

- **Mimoměstské komunikace s ADT od 250 do 400 vozidel za den**

Maximální hodnota redukce návrhové rychlosti o 15 km/h.

- **Mimoměstské průmyslové a zemědělské cesty**

U těchto cest se návrhová rychlost redukuje maximálně o 10 km/h, jelikož se zde pohybuje velké množství nákladních vozidel.

- **Městské komunikace s ADT do 250 vozidel za den**

Stejně tak jako pro mimoměstské komunikace se stejnou intenzitou zde platí, že se může redukovat až o 20 km/h.

- **Městské komunikace s ADT od 250 do 400 vozidel za den**

Maximální hodnota redukce návrhové rychlosti o 15 km/h.

- **Městské průmyslové komunikace**

Maximální hodnota redukce návrhové rychlosti o 15 km/h.

## **5.5 Výškové řešení**

### **5.5.1 Podélný sklon**

Hodnota podélného sklonu je dalším velmi důležitým parametrem, který významně ovlivňuje rychlosti, kterými se budou vozidla na komunikaci pohybovat a také má vliv na cenu údržby.

#### **Maximální hodnota podélného sklonu**

Nedá se jednotně říci, jakou maximální hodnotu použít, vše záleží na dané oblasti, na schopnosti daného povrchu odolávat eroznímu působení srážkové vody. Strmější sklony si vyžadují vyšší investice, jelikož musí být zajištěno dokonalejší odvodnění a povrch musí být většinou stabilizován. Zvláště opatrní bychom měli být, pokud navrhujeme sklony větší než 8 procent.

Maximální podélné sklony podle typu vozidla [2]:

Osobní automobily:	12 %
Osobní automobily s přívěsem nebo obytné vozy:	12 % do délky 90 metrů
Vozidla s vysokou světlou výškou a pohonem všech kol:	až 18 %

Tyto hodnoty nejsou závazné, například pro návrhovou rychlost 50km/h se může maximální podélný sklon pohybovat v rozmezí od 7 do 12 procent, podle daného terénu.

Maximální hodnota podélného sklonu by se měla objevovat ojediněle, většina podélných sklonů by měla dosahovat hodnot nižších. Pro komunikace s nízkou intenzitou dopravy existuje výjimka, že pro stoupání o délce menší než 150 m může maximální hodnota podélného sklonu dosahovat o dvě procenta vyšší hodnoty než je hodnota maximální.

Nepřípustným podélným sklonům se můžeme vyhnout použitím směrových oblouků, osu komunikace zakřívíme a tím podélný sklon redukuje.

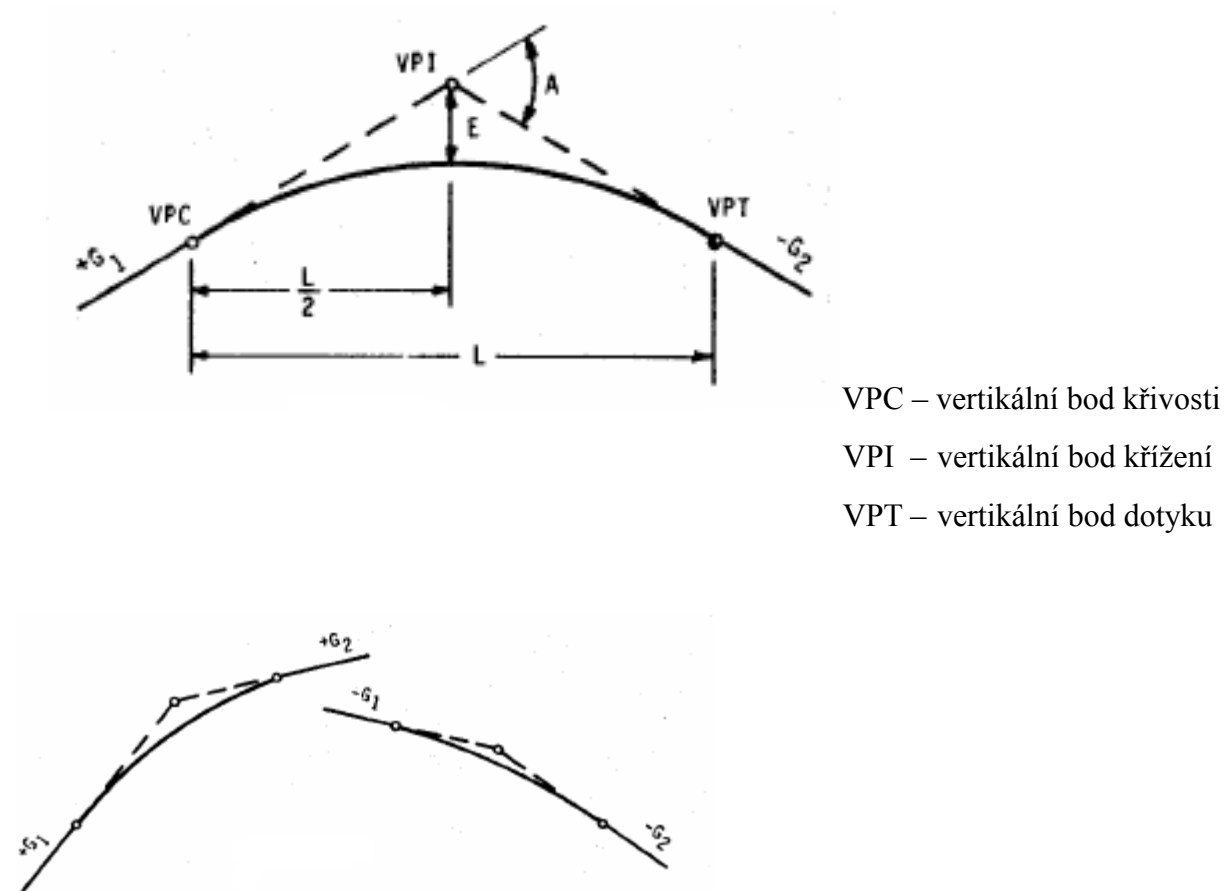
### Minimální hodnota podélného sklonu

Kvůli správnému odvodu vody z povrchu vozovky by měl být podélný sklon minimálně 0.5 procenta, pro zvláštní případy lze použít i nižší podélný sklon. Nulové sklony by se neměly používat vůbec, neodvádějí vodu, což způsobuje poruchy vozovky.

### 5.5.2 Návrh výškového oblouku

Výškový oblouk zajišťuje plynulý přechod mezi změnami podélného sklonu vozovky.

#### Vrcholový oblouk



Obrázek 4 - vrcholový oblouk [2]

Aby byla zajištěna bezpečnost, navrhuje se délka vrcholového oblouku tak, aby byla dodržena délka rozhledu pro zastavení, pro danou návrhovou rychlost.

Výpočet minimální délky parabolického vrcholového výškového oblouku:

(6)

Pro  $S < L$

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

Pro  $S > L$

(7)

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

L - délka výškového oblouku [m]

S - délka rozhledu [m]

A - absolutní hodnota změny podélných sklonů [%]

$h_1$  - výška očí nad vozovkou [m] (1,080 m)

$h_2$  - výška překážky [m] (0,600 m)

Křivost paraboly výškového oblouku se následně vypočte ze vztahu:

(8)

$$K = \frac{L}{A}$$

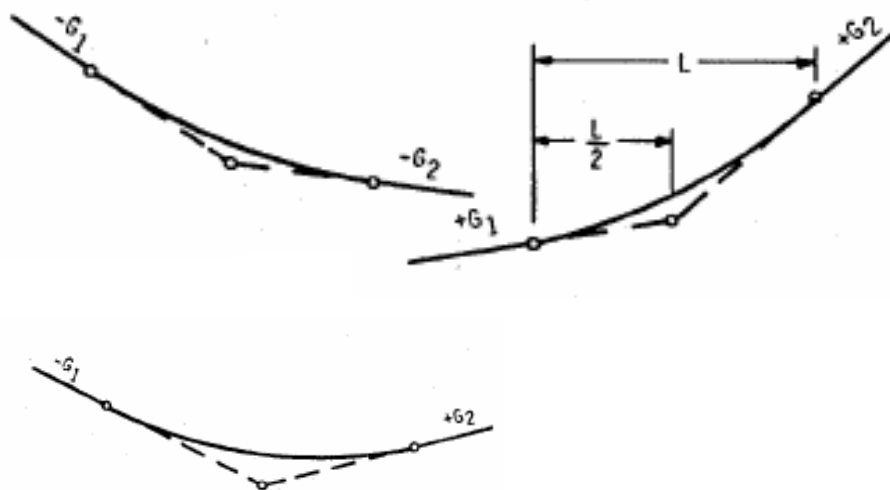
Případ, že  $S > L$  nastane tehdy, když A je velmi malé. Pro velmi malé A vychází délka L výškového oblouku rovna 0. Pro tyto případy je definována minimální délka výškového oblouku.

(9)

$$L_{min} = 0,6V$$

V – rychlost vozidla [km/h]

## Údolnicový oblouk



Obrázek 5 - údolnicový oblouk [2]

Délka údolnicového oblouku se většinou určuje podle dosvitu světel automobilu, které jsou ve výšce 600 mm nad vozovkou.

Následující vzorec vyjadřuje závislosti mezi  $S$ ,  $L$  a  $A$ . Vzdálenost  $S$  je vzdálenost mezi vozidlem a průsečíkem paprsku světla, směřujícího nahoru pod úhlem  $1^\circ$  s povrchem vozovky.

(10)

Pro  $S < L$

$$L = \frac{AS^2}{200[0.6 + S(\tan 1^\circ)]}$$

Pro  $S > L$

(11)

$$L = 2S - \frac{200[0.6 + S(\tan 1^\circ)]}{A}$$

$L$  - délka údolnicového oblouku [m]

$S$  - dosvit světel [m]

$A$  - absolutní hodnota změny podélných sklonů [%]

Pro zajištění bezpečnosti by měl být směrový oblouk dostatečně dlouhý, tak aby byl dosvit světel větší nebo roven vzdálenosti pro zastavení. Minimální délka oblouku  $L_{\min} = 0.6V$ .

Některé stávající komunikace nesplňují podmínky bezpečného rozhledu. A jelikož náklady na úpravu stávajícího stavu jsou velmi vysoké a množství nehod zapříčiněných nedostatečným rozhledem pro zastavení je velmi malé, může být komunikace provozována i s nedostatečným rozhledem. K opravě se přistoupí až tehdy, když se prokáže, že na místě dochází k nehodám v důsledku nedostatečného rozhledu.

## 5.6 Dopravní značení

Téměř všechny státy v USA používají Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) [3] pro návrh dopravního značení. Výjimku tvoří Texas, který má vlastní návod, ale většina předpisů je podobných.

Část 5 v této knize obsahuje předpisy pro dopravní značení běžně používané na nízkokapacitních komunikacích.

Zařízení kontrolující dopravu (Traffic Control Devices) mohou být definovány jako všechny dopravní značky, signály, značení a ostatní zařízení, umístěné na dálnicích, silnicích, cyklostezkách nebo i veřejně přístupných soukromých cestách, které slouží k regulování dopravy, varování nebo jako průvodce.

Pozornost by měla být věnována zejména zařízením, která:

- varují před podmínkami, jež nelze normálně očekávat,
- zakazují nebezpečné pohyby,
- podávají informaci o směrovém vedení trasy,
- regulují provoz.

Význam spočívá v informování řidičů o dopravních předpisech a omezeních, například maximální povolená rychlost

### 5.6.1 Varovné dopravní značky



Obrázek 6 - varovné dopravní značky [3]

Varují před neočekávanými podmínkami nebo upozorňují na křížení s přílehlou komunikací.

### 5.6.2 Informační dopravní značky

Dávají informaci o aktuální poloze, směru, oblasti a komunikaci. Pokud se jedná o komunikaci zajišťující pouze lokální dopravu, informační značky nejsou potřeba.

### 5.6.3 Vodorovné značení

Používá se pouze u stmelených krytů, slouží k vedení a informování řidiče.

### 5.6.4 Dopravní značení pro železniční přejezdy



Obrázek 7 - dopravní značení pro železniční přejezdy [3]

Zahrnuje všechny dopravní značky, signály, vodorovné značení, světelné a jiné varovné zařízení. Cílem je zajistit bezpečné a efektivní fungování silniční i železniční dopravy.

### 5.6.5 Dočasné dopravní značení



Obrázek 8 - dočasné dopravní značení [3]

Využívá se například při plánované údržbě vozovky, kdy je potřeba zavést zvláštní opatření, aby nedošlo k ohrožení pracovníků údržby ani ostatních účastníků provozu

### 5.6.6 Dopravní značení pro oblast školy

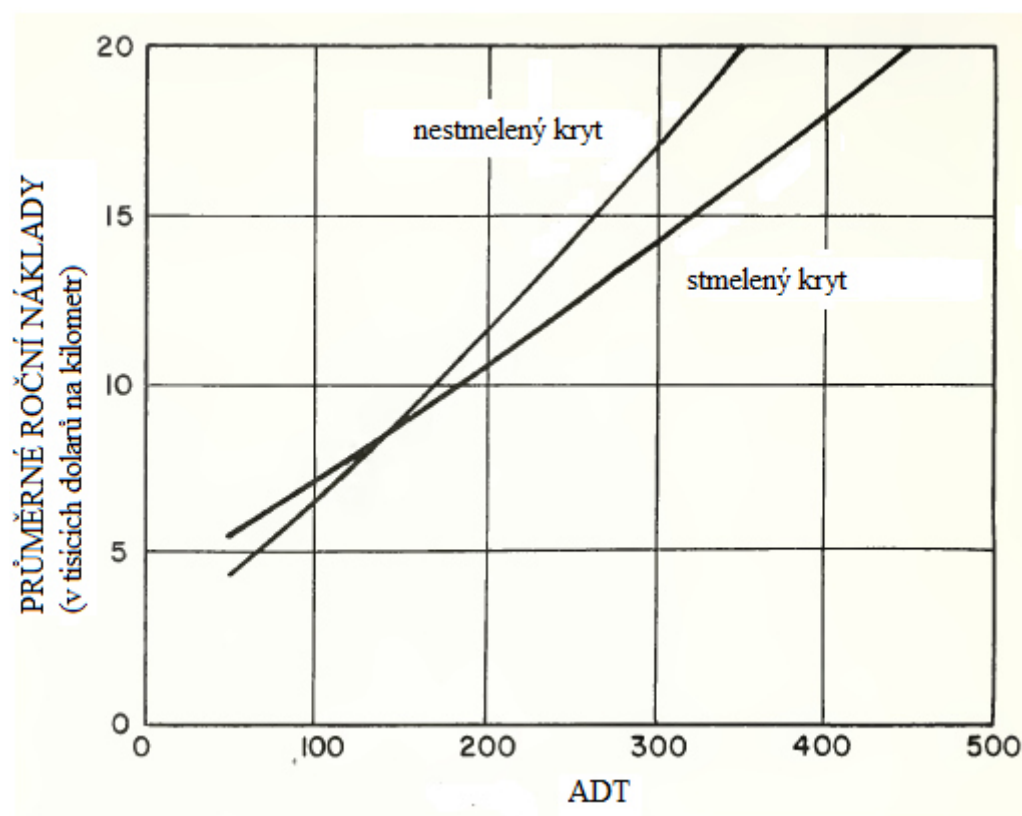
Jedná se zejména o omezení maximální povolené rychlosti a varování řidiče, že se nachází v blízkosti školy.

## 6 Konstrukce vozovky

Jelikož je v mnoha oblastech intenzita dopravy velmi nízká, navrhuji se vozovky většinou s nestmeleným krytem tvořeným převážně šterkem, stmelený kryt a jeho údržba by zde nebyla ekonomicky výhodná.

Stanovení jakési „zlomové“ intenzity, hodnoty intenzity, od níž přestávají být vozovky s nestmeleným krytem výhodné, je velmi problematické, závisí na mnoha faktorech a vyžaduje podrobnou analýzu. Dříve se za „zlomovou“ intenzitu považovalo 100 vozidel za den, ale později se ukázalo, že to takto hromadně říci nelze, protože se od sebe tyto hodnoty v různých lokalitách velmi liší [10].

Ukázka závislosti průměrných ročních nákladů jednoho kilometru komunikace na průměrném denním počtu vozidel na komunikaci se stmeleným a nestmeleným krytem.



Graf 1 - závislost průměrných ročních nákladů na ADT [10]

Jedná se o analýzu komunikace ve Střední Africe (pro hodnotu CBR = 5 %, růst dopravy = 6 % a předpokládanou vrstvu šterku o tloušťce 10 cm, která bude měněna každých pět let)

V dané situaci vidíme, že je nestmelený kryt je výhodný do intenzity asi 140 vozidel za den, při překročení této intenzity je vhodné navrhnout stmelený kryt vozovky.

Cesty s nestmeleným krytem se často používají ve farmářských oblastech, kde zajišťují spojení farem s většími městy. Běžně slouží také jako příjezdové cesty ke kempům, jezerům a dalším rekreačním oblastem.

## **6.1 Kritéria návrhu krytu vozovky**

### **6.1.1 Provedení**

Provedením je myšlena schopnost vozovky odolávat vnějším degradačním vlivům. Zhoršení stavu vozovky způsobují nejčastěji opakovaná zatížení dopravou, eroze a nesprávná a nepravidelná údržba. Za indikátor kvality provedení se považuje výsledná rychlost vozidla, která umožňuje komfortní jízdu.

### **6.1.2 Provozeroschopnost**

Je definována jakási limitní hodnota, která nesmí být překročena a pokud se tak stane, musí být provedena údržba. Pro vozovky, jejichž obrusnou vrstvu tvoří štěrk je určujícím parametrem hloubka deformace měřená v příčném směru. Za nevyhovující se obecně považuje deformace větší než dva palce nebo větší než polovina štěrkové vrstvy, pokud člověk, který vozovku navrhuje, neurčí jinak.

### **6.1.3 Hloubka deformace**

Používá se k určení provozuschopnosti. Jedná se zpravidla o vyjetou kolej koly vozidla. Její hodnota se získává měřením a jde o vzdálenost od nejhlubšího místa vyjeté koleje po spodní hranu desky položené přes nerovnost.

První deformace vznikají ve vrchní štěrkové vrstvě. Pokud údržba nezasáhne včas, pak zejména vlivem srážkové vody se vyjeté koleje zaplní vodou, která nemá kam odtéct, zvýší se saturace a následkem je snížení únosnosti. Následné zatížení potom vede k dalším výrazným deformacím.

### **6.1.4 Spolehlivost**

Je definována jako pravděpodobnost, že bude daná vozovka sloužit po dobu návrhové životnosti. Pro komunikace s nízkou intenzitou dopravy se nejčastěji počítá s pravděpodobností 50%, což znamená, že po uplynutí padesáti procent návrhové doby bude akceptována hloubka vyjeté koleje větší, než byla návrhová hodnota až do požadované doby životnosti.

### **6.1.5 Údržba**

Smyslem údržby je udržovat vozovku v provozuschopném stavu, opravovat povrchové deformace a tím předcházet závažným poruchám. Pravidelná údržba by měla být prováděna po celou dobu životnosti vozovky. Správnou a pravidelnou údržbou můžeme prodloužit návrhovou životnost vozovky.



### 6.1.6 Provozní ztráty

Je to odhadované množství materiálu nebo tloušťka jeho vrstvy, která bude zničena nebo ztracena silničním provozem. Tuto odhadnutou tloušťku připočteme k tloušťce konstrukční vrstvy.

Konstrukční tloušťka je tloušťka vrstvy vozovky potřebná k přenesení odhadované dopravy po dobu určenou návrhem.

### 6.1.7 Rekonstrukce

Na konci návrhové životnosti je potřeba zhodnotit stávající stav vozovky a navrhnout postup rekonstrukce. Nepředpokládá se, že bude vozovka po uplynutí životnosti totálně zničená, i když i to může nastat, spíše je však povrch pouze v nevyhovujícím stavu a neplní již požadavky dopravy. Provede se analýza vzniklých poruch a určí se požadavky pro další návrhové období.

## 6.2 Návrh

Existují dva návrhové postupy. Pokud není šterková vrstva nutná k tomu, aby přenášela zatížení dopravy, ale je použita z nenosných důvodů jako jsou například minimalizace erozí, snížení prašnosti nebo zajištění lepší trakce, nazýváme tento postup jako „nekonstrukční návrh vozovky“. Pokud vrstvu navrhujeme jako nosnou, volíme „konstrukční návrh vozovky“ [5].

### 6.2.1 Nekonstrukční návrh

Základní body nekonstrukčního návrhu:

- Ověření cílů silničního návrhu
  - zahrnuje omezení, požadavky vozovky a sezónní uzavírky,
  - definuje předpokládanou údržbu a důsledky nedostatečné údržby.
- Materiálové charakteristiky
  - určení typu zeminy v podloží a předpokládané konstrukce,
  - použitelná zrnitost kameniva.
- Použitelné alternativy vozovky
  - Šterkový kryt
    - vrstva zhutněného šterku o minimální tloušťce 2 palce pro hrubozrnné podloží nebo o minimální tloušťce 4palce pro jemnozrnné podloží.
  - Stabilizovaný šterkový kryt
    - použijí se stejné tloušťky vrstvy jako bez stabilizace.

- Asfaltový kryt
  - dvě vrstvy BST (asfaltový postřík zasypaný podrceným kamenivem, celková výška vrstvy menší než 1 palec) pro hrubozrnné podloží nebo vrstva z asfaltobetonu o minimální výšce 2 palce pro jemnozrnné podloží.
- Zlepšená zemina
  - typicky cementem nebo vápnem.
- Výběr materiálu krytu vozovky
  - Materiál a tloušťka jeho vrstvy, který bude nejméně nákladný a přitom bude splňovat všechny požadavky návrhu.

## 6.2.2 Konstrukční návrh

Základní body konstrukčního návrhu:

- Určení provozních kritérií a cílů
  - definice omezení,
  - očekávaný plán údržby.
- Materiálové charakteristiky
  - hodnoty CBR podloží,
  - CBR ložné a obrusné vrstvy,
  - možnost vzniku eroze.
- Odhad dopravy
  - Další z důležitých parametrů návrhu. Musí být zpracována analýza současného a očekávaného stavu.
- Návrh hloubky deformace (hloubka vyjetých kolejí)
  - Tento parametr se používá k určení provozuschopnosti dané vozovky.
  - Jako nevyhovující se obecně považuje hloubka vyjetých kolejí větší než 2 palce.
- Výpočet tloušťky krytu vozovky
  - Kryt tvořený zhutněnou zeminou

(12)

$$RD = 5.8230 \frac{R^{0.2476}}{(\log t)^{2.002} C_1^{0.9335} C_2^{0.2848}}$$

RD –hloubka vyjetých kolejí [palec]

R – počet opakování zatížení 18000lb jednonápravou s tlakem v pneumatikách 80 psi

$t$  –tloušťka krytu [palec]

$C_1$  –CBR zhutněné zeminy

$C_2$  – CBR zeminy v podloží

Pro výpočet tloušťky krytu do rovnice dosadíme požadovanou maximální hloubku vyjetých kolejí a vyjádříme  $t$ .

Zjednodušení pro limitní hloubku 2 palce:

(13)

$$\log t = 1.7054 \frac{R^{0.1237}}{C_1^{0.4663} C_2^{0.1423}}$$

- Štěrkový kryt

Výpočet minimální tloušťky štěrkového krytu provedeme podle stejného vzorce, pouze za  $C_1$  dosadíme CBR použitého štěrku.

- Asfaltobetonové a asfaltové kryty

Návrh tloušťky těchto krytů se provádí stejně jako u vysokokapacitních vozovek a proto se jím nebudu dále zabývat.

### 6.2.3 Minimální tloušťka vozovky

Hodnota minimální tloušťky by měla být větší než:

- 4 palce
- dvojnásobek maximální velikosti zrna
- součet konstrukční tloušťky a ztráty materiálu

[5]

### 6.2.4 Materiál krytu vozovky

Materiály použité pro krytovou vrstvu se liší podle oblasti, kde je vozovka budována. Vždy by se mělo používat to nejlepší, co je v dané oblasti k dispozici. V některých pobřežních oblastech se na nestmelený kryt používají mušle, v jiných zase například struska, škvára nebo recyklovaný beton či asfalt. Nejběžnějšími materiály pro kryt jsou však vápence, křemence, žuly, kameny z glaciálních ložisek nebo také říční štěrky [6].

#### 6.2.4.1 Zrnitost

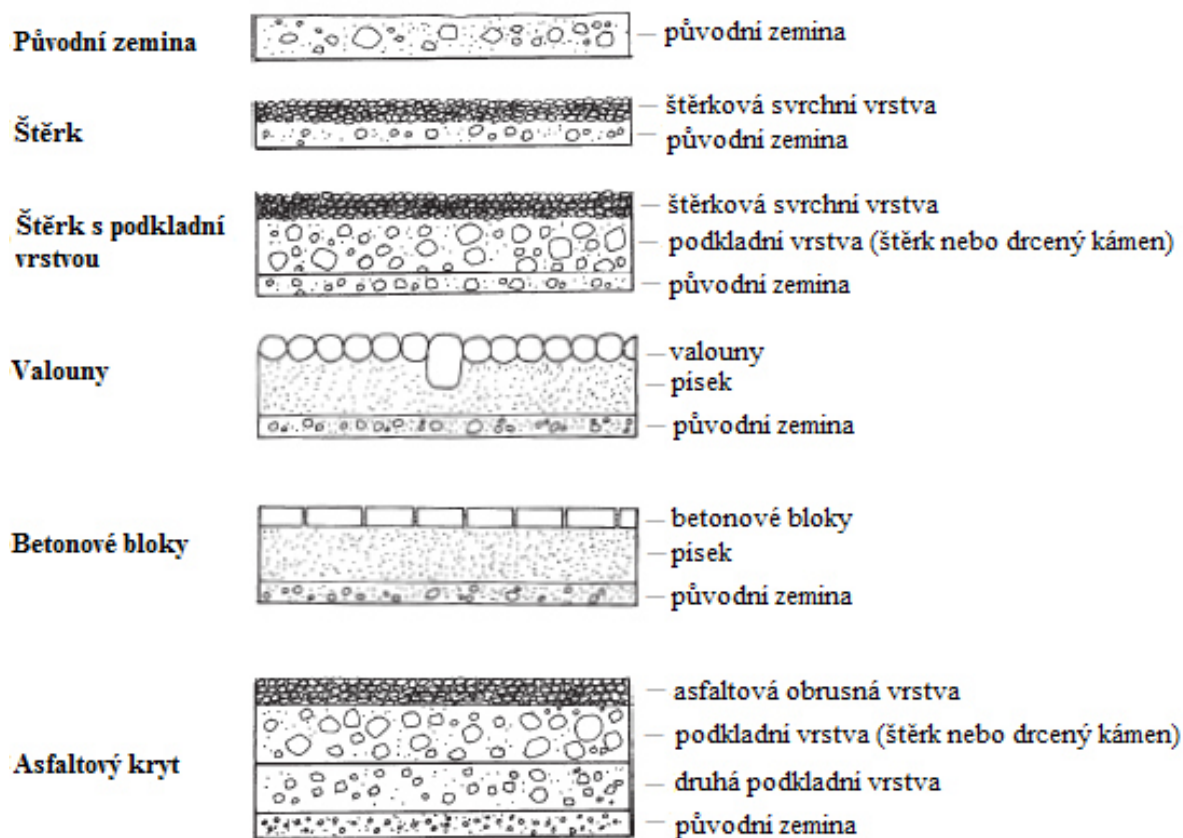
Pro dobrý materiál je důležitý správný poměr kamene, písku a prachových částic. Pořizovací cena kvalitního materiálu může být vyšší, ale naopak jeho údržba je vždy levnější. Kvalitní materiál lze určit pouze odebráním vzorku a následným testováním v laboratoři.

#### 6.2.4.2 Výhody drceného kamene

Drcený kámen se mnohem lépe začleňuje do povrchu než zaoblený. Odolává také lépe zatížení dopravou a zajišťuje přídatnou pevnost a stabilitu.

#### 6.2.4.3 Recyklovaný asfalt

V dnešní době, při nejrozličnějších opravách, vzniká mnoho odpadního materiálu. Díky jeho příznivé ceně a také kvůli jakési ekologičnosti, je snaha tento materiál znovu použít. Jedním z těchto materiálů je recyklovaný asfaltový kryt, jenž lze někdy použít pro štěrkové kryty, ale mohou s ním být potíže. Tyto potíže způsobuje asfalt, který se v horkých dnech roztéká a vytváří na povrchu vozovky jakýsi měkký ucelený povlak. Ten v podstatě znemožňuje práci údržbě komunikací. Proto je vhodné recyklovaný asfaltový kryt smíchat se štěrkem v poměru asi 1:2 nebo je možné ho smíchat například s recyklovaným betonem.



Obrázek 9 - běžně používané skladby nízkokapacitních vozovek [9]

### 6.2.5 Testování

Štěrkové materiály jsou rozdílné, proto je nutné každý zvlášť otestovat. Někdy nám může něco o vlastnostech říci vizuální pohled, ten je však zavádějící. Pro správné a úplné určení vlastností materiálu je vždy nutné provést laboratorní zkoušky. Základními vlastnostmi, které nás zajímají, jsou zrnitost, plasticita a kohezní vlastnosti. Ty nám pomáhají určit, zda je daný materiál vhodný pro námi zamýšlené použití. Je dobré si také udělat testy materiálu přivezeného přímo na staveništi, ne vždy je přivezeno to, co bylo objednáno a je vždy lepší to zjistit před pokládkou, kdy je ještě možné nevhodné vlastnosti upravit.

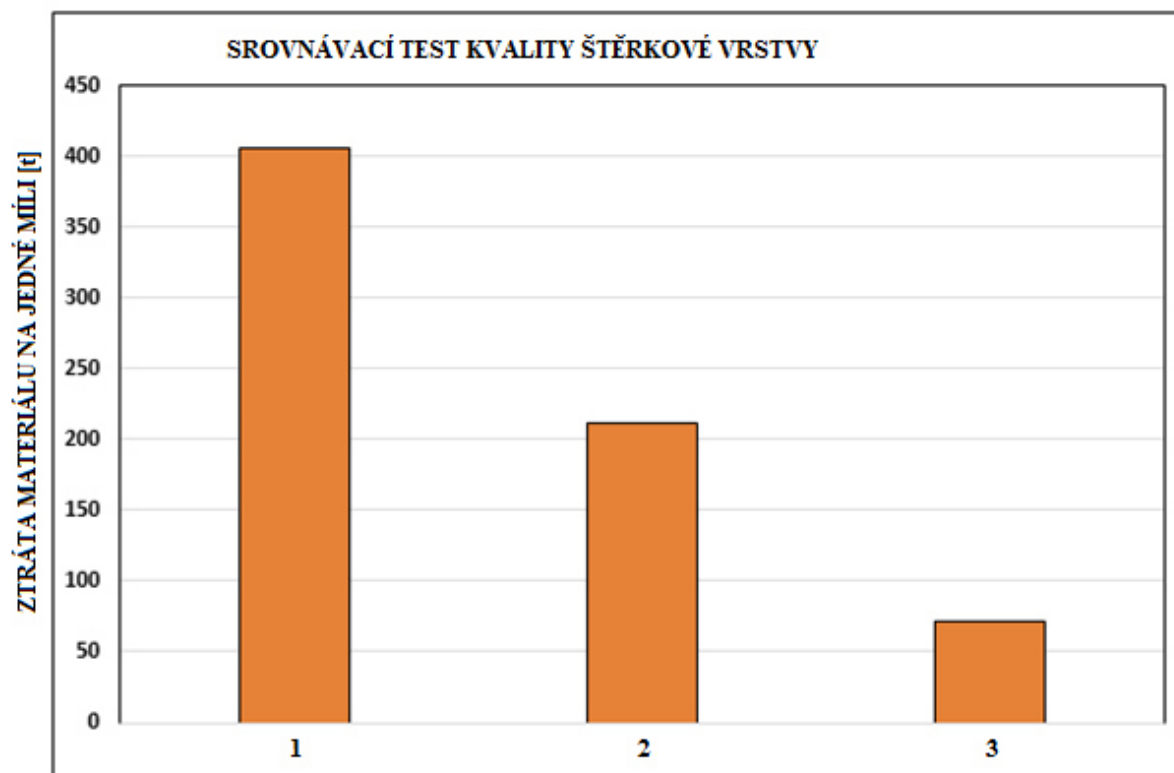
Odebírání vzorku:

Místo odběru vzorku je zásadní pro určení správných výsledků zkoušky. Je nutné odebrat správné množství reprezentativního vzorku.

Do testování materiálu je dobré investovat, ušetří to následné náklady na údržbu. Skvělým důkazem o vlivu vhodně použitého materiálu na údržbu je místní studie Jižní Dakoty, technický asistenční program Gravel Surfacing Guidelines, kde bylo potvrzeno, že kvalitní materiál, i přes vyšší pořizovací náklady, bude díky nižším nákladům na údržbu na konci životnosti výhodnější. Test byl proveden na testovacím úseku o délce 1 míle, kde byly použity 3 typy materiálů:

- 1 nestandardní materiál s kontrolou pouze maximální velikosti zrna se 100% průchodem přes 2.5 palcové síto,
- 2 materiál splňující specifikace pro Jižní Dakotu, ale index plasticity a požadované množství jemnozrnných částic měl blízko minima,
- 3 modifikovaný materiál s maximálním dovoleným množstvím jemnozrnných částic a index plasticity 7.

Na testovaném úseku byla průměrná denní intenzita dopravy 100 vozidel za den s odhadovaným podílem těžkých nákladních vozidel 12 %. Přibližně po třech letech byly ztráty materiálu a zvlnění na úseku s nestandardním materiálem tak závažné, že již nešla provést údržba a musel být dovezen další materiál. Standardní materiál byl i po třech letech v přijatelné kondici. Modifikovaný předčil očekávání, vystačil si asi se čtvrtinovou údržbou a i v suchém období zůstal bez poruch [6].



**Graf 2 - test štěrkové vrstvy [6]**

Ztráta materiálu byla měřena rok po zhotovení krytu vozovky a je vidět výrazně vyšší ztráta u nestandardního materiálu 405 tun, oproti 210 tunám u standardního a 70 tunám u modifikovaného.

## 7 Poruchy a problémy vozovek s netmeleným krytem

### 7.1 Zvlněný povrch



Obrázek 10 - zvlněný povrch [6]

Tato porucha je pro řidiče velmi nepříjemná a může vést ke ztrátě kontroly nad vozidlem

Hlavní příčiny zvlnění:

- Řidičské návyky

Je jasně vidět, že největší poruchy vznikají v místech, kde řidič agresivně brzdí nebo prudce akceleroje tj. konec prudkého klesání, před zatáčkou a ve výjezdu z ní. Někdy je možné vidět zvlnění i v místě napojení, zejména pokud je vyšší intenzita dopravy, kde je řidič nucen prudce akcelarovat, aby se bezpečně zařadil [6].

- Nesprávná údržba

Zvlnění povrchu může vytvářet i sám grejdr. Děje se tak většinou kvůli příliš vysoké rychlosti pojezdu, ale i nesprávný tlak v pneumatikách, který způsobuje odskakování a nestabilitu grejdrů, může být příčinou.

- Nedostatek vlhkosti

Vysušený povrch trpí ztrátou jemných částic materiálu. Poté, co ve svrchní vrstvě schází určitá frakce, je tvorba vln jednodušší.

- Příčný sklon

Poruchy v příčném sklonu znamenají, že srážková voda místy odtéká lépe a místy hůře, což způsobuje nerovnoměrnou únosnost v závislosti na nerovnoměrné vlhkosti, vozovka se pak pod koly vozidel nerovnoměrně deformuje.

- Špatná kvalita materiálu vozovky

Pro minimalizaci poruch se provádějí testy stávající vozovky a materiál se upraví tak, aby splňoval požadavky zrnitosti a plasticity. Ani s nejlepší údržbou nemůže být tvorbě vln úplně zamezeno.

- Slabé a měkké podloží

Jedná se zejména o oblasti bažin a mokřad. Voda odtud nemá kam odtéct, tudíž je podloží velmi měkké a nedokáže přenést příliš velká zatížení a tak i nízká zatížení mohou vyvolat tvorbu výmolů.

Jedna z metod, jak se s tímto problémem vypořádat, je odstranit a nahradit neúnosnou zeminu nebo pokud má stávající vozovka dostatečnou šířku, můžeme přidat nový únosný materiál přímo na ni. Nový materiál se bude vždy lišit podle oblasti, ve které se nacházíme, důležité je aby byl čistý a dobře odvodnitelný.

Jinou metodou je použití geotextilie, která oddělí neúnosnou zeminu od nového materiálu a zabrání promíchávání s jílovitými částicemi, díky kterým se pak vrstva jako celek chová jako neúnosná. Geotextilie se pokládá na podkladní vrstvu před pokládkou svrchního materiálu [6].



## 7.2 Výtluky



**Obrázek 11 - výtluky [13]**

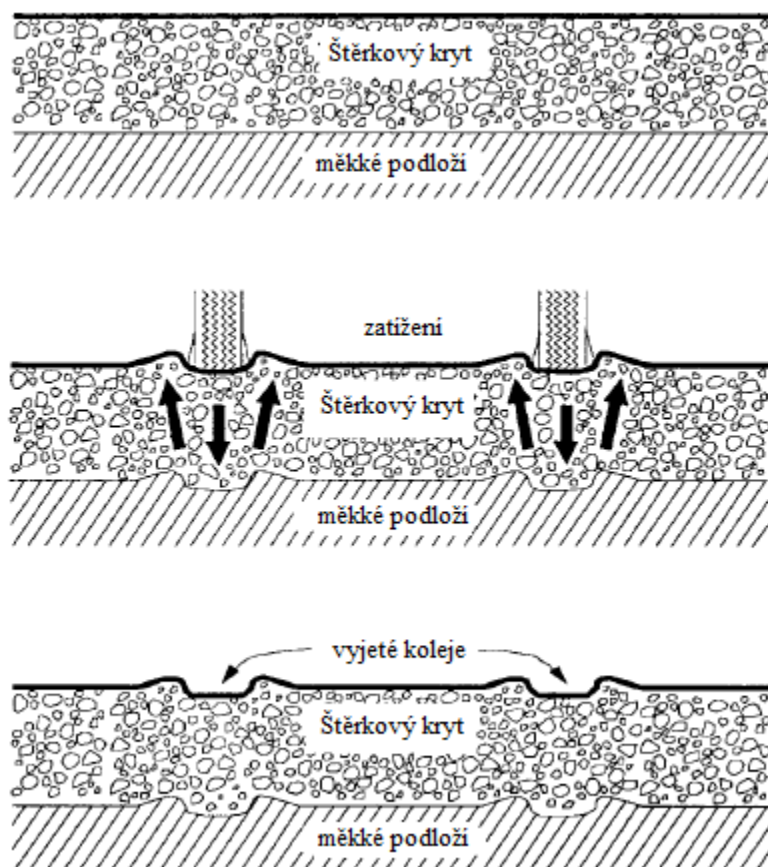
Vznikají z několika příčin:

- špatný příčný sklon a odvodnění,
- špatná údržba,
- deformace neúnosného podloží,
- pokles hnízd hmyzu nebo zvířat,
- rozpad měkkého materiálu s velkými zrny,
- špatné zhutnění,
- rozdílná vlhkost a použitý materiál.

Řidiče trápí zejména kvůli ničení jejich vozidel. Za nejvíce ničivé bereme výtluky, které mají průměr 250 mm až 1500 mm a hloubku více než 50 mm [8].

Výtluky je obtížné opravit, zaručený způsob opravy je jeho zvětšení a následné zasypání vlhkým štěrkem a zhutnění, někdy je výhodné tuto operaci provádět ve více vrstvách.

### 7.3 Vyjeté koleje



Obrázek 12 - vyjeté koleje [7]

Jsou to deformace vzniklé pod stopami kol, které mohou vznikat několika mechanismy, například: deformací podloží, zhutněním podloží, zhutněním krytu vozovky nebo ztrátou materiálu krytu.

Vyjeté koleje zadržují vodu, čímž dochází k měknutí svrchní vrstvy a tím dělají vozovky náchylnější k dalším deformacím vlivem dopravy. Běžnou údržbou jsou vyjeté koleje zahrnuty a nahrnutý materiál je zhutněn. Další vyjeté koleje většinou vznikají v těsné blízkosti předchozích.

## 7.4 Trhliny



**Obrázek 13 - trhliny [17]**

Trhliny nejsou typickou deformací vozovek se štěrkovým krytem, ale v suchých obdobích se mohou objevit a vedou ke tvorbě výmolů. Trhliny jsou následkem použití příliš jemnozrnných materiálů. Tyto materiály bývají zároveň velmi kluzké.

## 7.5 Eroze



**Obrázek 14 - eroze [14]**

Je ztráta materiálu z krytu vozovky způsobená tekoucí vodou. Schopnost materiálu odolávat erozi závisí na hodnotě vnitřního tření. Jemnozrnnější materiály jsou k erozi náchylnější, ale ty co mají vysokou plasticitu, mohou erozi odolat.

Prevence proti erozi:

- Zvětšení vnitřního tření úpravou zrnitosti materiálu, zajištění dobře zrněné a soudržné směsi. Hutnění také zvyšuje hodnotu vnitřního tření, způsobuje lepší vzájemné zaklesnutí zrn.
- Zmenšení sklonu tak, aby tok vody měl menší rychlost a odnášel menší množství materiálu. Podélný sklon by měl být maximálně 5 procent, vyšší sklony vyžadují zvýšení vnitřního tření krytu vozovky [8].



## 7.6 Kluzkost

Jedná se o významný problém nestmeleného krytu jak za mokra, tak i za sucha. Za mokra je kluzkost způsobena použitím příliš jemného nebo plastického materiálu. Avšak i správně zrněné materiály mohou být kluzké, když se v blízkosti krytu nachází větší množství jílových nebo prachových částic.

Za sucha se nestmelené kryty stávají kluzkými v důsledku nadměrné ztráty materiálu a nedostatečné údržby. Jemnozrné částice se nahromadí na krytu vozovky a vytvoří tam prachovou vrstvu, součinitel smykového tření mezi koly vozidla a krytem je pak prakticky nulový.

Zlepšení stavu za mokra dosáhneme pouze použitím vhodnějšího materiálu, pokud tak neučiníme, měla by být na vozovkách s kluzkým povrchem alespoň umístěna dopravní značka s varováním.

## 7.7 Prašnost



**Obrázek 15 - prašnost [Vlastní]**

Prach je jemný materiál, tvořený převážně siltovými částicemi, který se uvolňuje z povrchu vozovky pod koly vozidel a také vlivem turbulence vyvolané pohybem vozidel. Uvolněné množství je dáno aerodynamickým tvarem vozidla, rychlostí vozidla a vlastnostmi krytu vozovky [8].

Prach je nežádoucí z mnoha důvodů:

- Bezpečnost
- Výrazně ovlivňuje viditelnost a tím může dostat řidiče do velmi nebezpečných situací.

- Pohodlí
  - Znepříjemňuje řidiči i pasažérům cestování, zejména v horkých dnech, kdy není kvůli prachu možné ani otevřít si okno a vyvětrat.
- Zdraví
  - Nepříznivě působí zejména na dýchací cesty, malé částice se usazují v průduškách a způsobují dechové obtíže.
- Ničení vozidel
  - Ohroženy jsou zejména veškeré pohyblivé části vozidla, smíchaný prach s mazivem působí jako brusná pasta.
  - Dochází také k nadměrnému zanášení vzduchového a kabinového filtru.
- Ničení přírody
  - Stromy se vysazují v okolí cest kvůli tomu, aby pohlcovaly prašnost a zabraňovaly jejímu šíření.
  - Příliš velká prašnost způsobuje nabalování prachu na stromy a rostliny okolo cesty a jejich ničení
- Ekonomické hledisko
  - Ztráta materiálu ve formě prachu má za následek změnu vlastností krytu vozovky, který se může následně stát nevyhovujícím, což si vyžaduje náklady na opravu.

## 8 Údržba

Dobrá údržba vozovka s nestmeleným krytem závisí na dvou věcech. Na správném použití grejdrů a na použití kvalitního, správně zrněného stěrku.

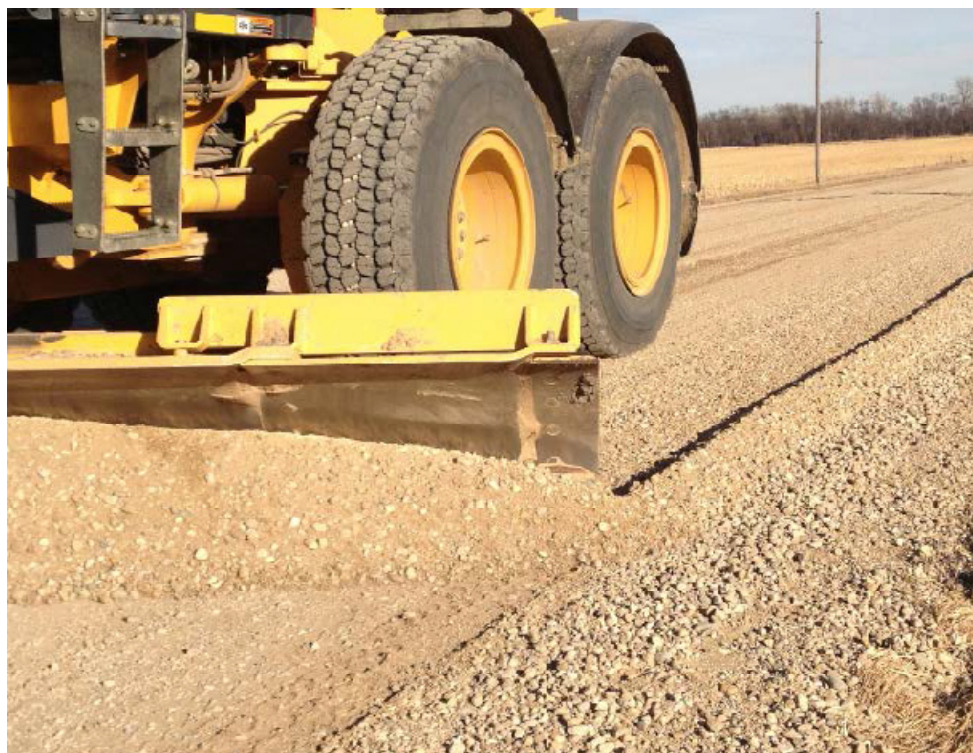
Pokud bude vozovka s nestmeleným krytem dobře navržena, udržovaná a dopravu budou tvořit převážně osobní automobily, nebude docházet k závažným poruchám krytu, ovšem při velkém zatížení, zejména pokud bude vozovka promáčená, bude docházet k jeho selhávání. Pro nízký ADT není předepsaná údržba, ale žádná nebo také nesprávná údržba vedou k rychlému zhoršení stavu [6].

### 8.1 Běžná údržba

Pro údržbu se používá grejdr nebo traktor s různým příslušenstvím, tak aby mohl grejdr suplovat. Postup údržby je stejný a nezáleží na použitém stroji.

Rychlost pojezdu musí být dostatečně pomalá na to, aby stroj zůstal stabilní, liší se v závislosti na vlhkosti, kvalitě materiálu a únosnosti podloží. Určení maximální rychlosti, při níž bude kvalita provedené údržby vyhovující, je obtížné.

Údržbový proužek:

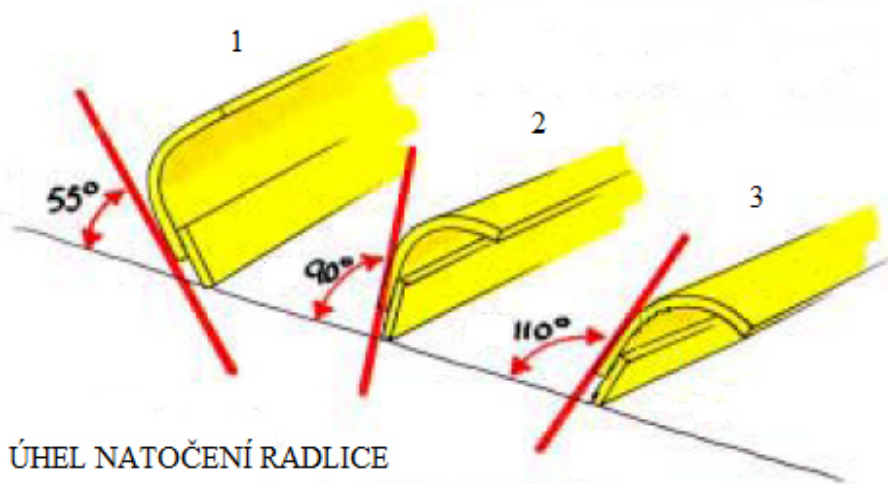


**Obrázek 16 - údržbový proužek [6]**

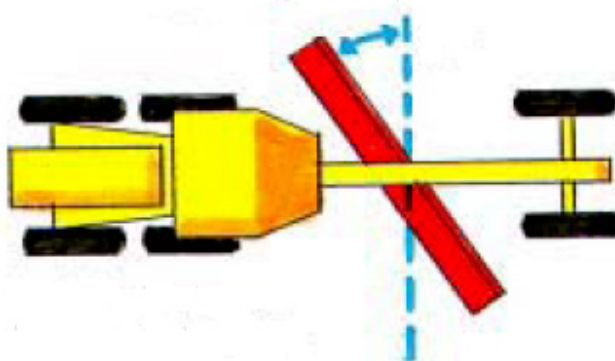
V některých oblastech je běžně povoleno nechávat při pojezdu grejdrem u kraje úzký „údržbový“ proužek, ze kterého můžeme při příští údržbě brát materiál pro zarovnání

nerovností. Toto řešení není vhodné při nedostatečné šířce vozovky nebo v oblastech vyššího úhrnu srážek, kde větší množství materiálu u okraje brání odtoku vody do příkopu.

#### ÚHEL NAKLOPENÍ RADLICE



#### ÚHEL NATOČENÍ RADLICE



**Obrázek 17 - nastavení grejdru [7]**

Úhel natočení radlice by se měl pohybovat mezi 30 a 45 stupni, tak aby se obnovoval ztracený materiál u krajů vozovky a zároveň nedocházelo k jeho rozsypávání do příkopu.

Důležité je také správné naklopení:

- 1 – nastavení pro seřezávání vrchní vrstvy
- 2 – nastavení pro rozprostírání
- 3 – nastavení pro urovnávání



## 8.2 Údržba příčného sklonu

Zde musíme přistupovat jinak než u cest se stmeleným krytem, kde si navrhujeme příčný sklon a jakmile je pokládka ukončena, vozovka zachová svůj tvar na dlouho dobu. V období vyššího úhrnu srážek vznikají na cestách s nestmeleným krytem výtluky a vyjíždějí se koleje, naopak v suchém období dochází ke ztrátě materiálu vozovky projíždějícími vozidly, které ho vymrštují do příkopů a okolní krajiny. Je velmi důležité udržovat správný příčný i podélný sklon příkopu. Stojící voda, na kterémkoliv místě, znamená blížící se poruchu vozovky.

Správný příčný sklon musí zajistit dokonalý odtok srážkové vody v průběhu deště. Pokud není tento požadavek dodržen, znamená to měknutí povrchu a vznik poruch. Naopak příliš velký sklon (6 % a více) způsobuje problémy s udržením vozidla v požadovaném směru a v případě sněhové či ledové pokrývky hrozí sklouznutí mimo vozovku. Obecně se doporučuje příčný sklon okolo 4 % [6].

Na přímém úseku by měl mít příčný řez střechovitý tvar, ten se však často provozem zakulatí, čímž nám vzniká parabola. Parabolický tvar je nevýhodný z hlediska nerovnoměrnosti, uprostřed, v místě nejmenšího sklonu, se drží voda, což opět vede k poruchám. Je potřeba tvar hlídat a poruchám předcházet.

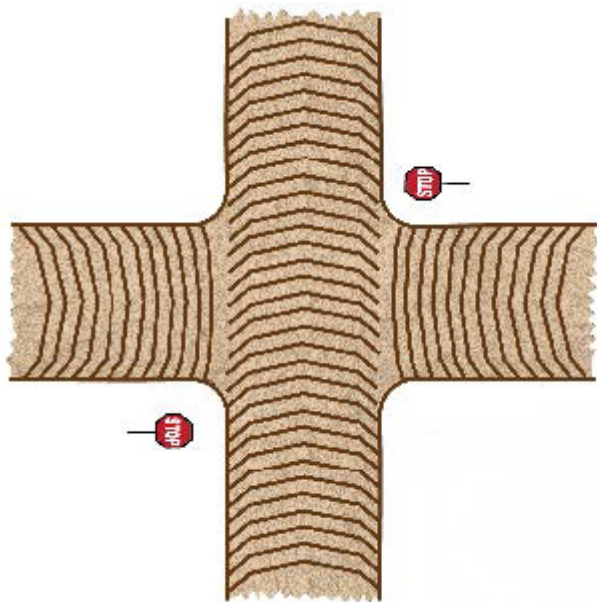
Na obnovu materiálu vozovky se používá většinou grejdr, který nahrne materiál nahromaděný u krajů zpět do vozovky, počet pojezdů závisí na množství nahromaděného materiálu. Opravovaný úsek musí být označen příslušnou dopravní značnou, aby byli řidiči včas varováni. Materiál nahrnutý zpět na vozovku často obsahuje vegetativní materiál (např. kořenové systémy rostlin), který ztěžuje rovnoměrné rozprostírání materiálu. Je zapotřebí více pojezdů grejdrem nebo se používají kotoučové brány [6].

Ne vždy je nahromaděný materiál vhodný k dalšímu použití, zejména když byla zanedbána údržba, materiál se hromadil dlouhou dobu a promíchával se s okolní zeminou. V tomto případě je lepší materiál naložit, odvézt a přivézt nový. Přestože to může být velmi nákladné, je to lepší, než znečistit vozovku špatným materiálem. Po přivezení nového materiálu je ideální čas k obnově správného tvaru vozovky.

### 8.3 Údržba křižovatek

#### 8.3.1 Křížení dvou cest s nestmeleným krytem

##### 8.3.1.1 Křižovatky s úpravou přednosti



**Obrázek 18 - křižovatky s úpravou přednosti [6]**

Jedná se o úrovnňové křížení dvou cest, z nichž jedna je hlavní a druhá vedlejší. Hlavní cesta si zachovává střešovitý tvar příčného profilu, kdežto vedlejší tento tvar eliminuje, tak aby se dokázala napojit na cestu hlavní. Postupné snižování příčného sklonu nastává 100 m před hranicí křižovatky [6].

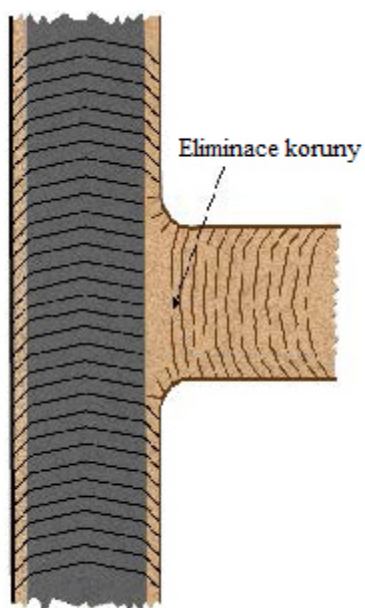
### 8.3.1.2 Křižovatky bez úpravy přednosti



Obrázek 19 - křižovatky bez úpravy přednosti [6]

Oba dva směry jsou si rovny. V tomto případě dochází ke snižování příčného sklonu v obou směrech, snižování opět začíná asi 100 m před křižovatkou, tak aby místo křížení působilo na řidiče jako rovné a zároveň aby mělo dostatečný příčný sklon pro odvod vody.

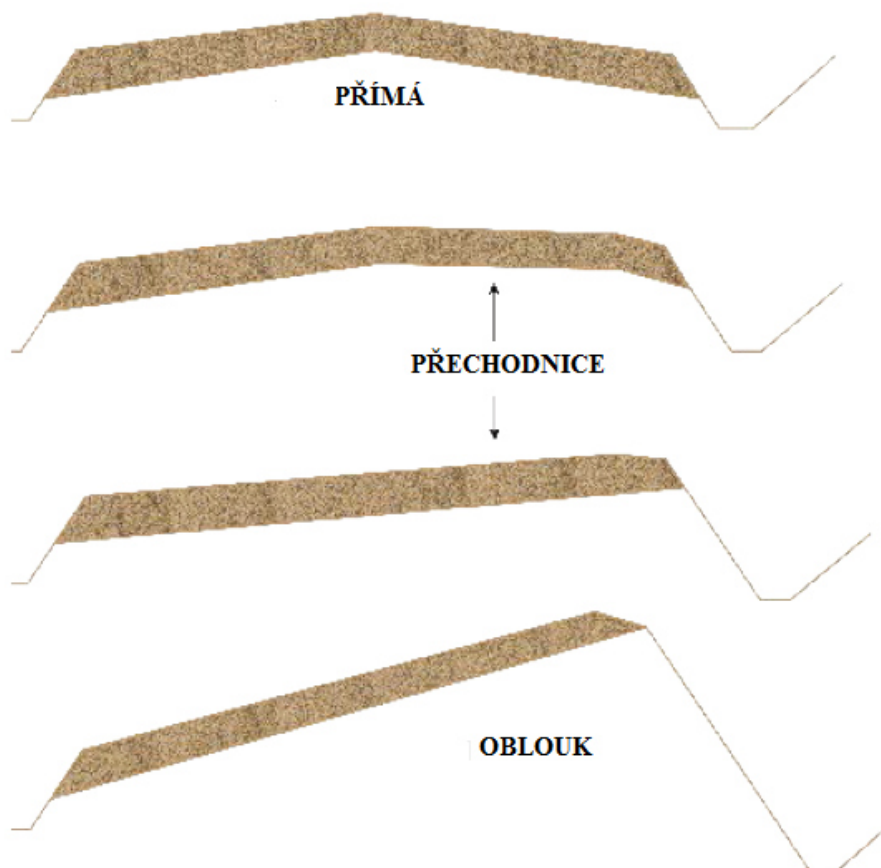
### 8.3.2 Křížení s cestou se stmeleným krytem



Obrázek 20 - křížení s cestou se stmeleným krytem [6]

Stmelený kryt se zde bere jako nadřazený, snižuje se příčný sklon nestmeleného krytu. Místo napojení je vždy kritické pro vznik výmolů, pokud je porušení závažné, je nutné porušenou vrstvu seříznout a znovu položit.

#### 8.4 Klopení vozovky



**Obrázek 21 - klopení vozovky [6]**

Správné klopení má výrazný vliv na bezpečnost provozu. Zvedání vnějšího okraje by mělo být plynulé a nemělo by překročit 6 %. Je potřeba hlídat, aby mezi vnitřním a vnějším okrajem byla rovina kvůli dobrému odvodnění. Ve směrovém oblouku dochází velmi snadno k poruchám. Vozidla mají při průjezdu směrovým obloukem tendenci vyhazovat materiál k vnějšímu okraji.

## 8.5 Kontrola eroze

Oprava tvaru obvykle naruší porost rostoucí v okolí komunikace, který drží materiál pohromadě, což může vést k erozi zeminy. Problém nastává zejména v oblastech, ve kterých je vysoký úhrn srážek. Když se snažíme problém omezit, obvykle si přivodíme další v podobě ucpaných propustků, příkopů a ničení životního prostředí.

Není řešením vyhnout se opravám, ale opatrně plánovat a využívat metod pro omezení eroze.

Je vhodné zvážit následující:

- Vyhnout se období, kdy lze očekávat časté a silné deště.
- Omezit narušování území jak jen to jde, čím méně narušené půdy, tím menší risk eroze.
- Stabilizace narušených míst, užití protierozní sítě nebo rohože, ale také setí nebo mulčování.
- Snižování rychlosti odtékající vody. Narušený povrch klade odtékající vodě menší odpor a tím narůstá její rychlost. Rychlost snižujeme menším sklonem svahů a příkopů. Menší rychlost vody pomáhá k rychlejší obnově vegetativního porostu.

## 8.6 Kontrola prašnosti a stabilizace

Problémy s prašností vznikají zejména v oblastech, kde panují dlouhá období sucha. Množství prachu v ovzduší závisí na kvalitě materiálu vozovky a na intenzitě dopravy. Materiály, obsahující alespoň nějaký podíl jílu, mají menší problémy s prašností, ale stále platí, že v suchém období bude každý materiál alespoň mírně prášit. Větší množství prachu může mít dopad na zdraví osob a zvířat, snižuje také viditelnost a tím má nepříznivý vliv na bezpečnost provozu, proto by měla být prašnost kontrolována.

V mnoha oblastech jsou nastaveny limity pro množství částic v atmosféře, za jejichž nedodržení se platí pokuty.

## 8.7 Stabilizace

Je nutná zejména kvůli snížení prašnosti. Má však mnoho dalších výhod, jako je například snížení množství materiálu ztraceného prášením, zvýšení pevnosti a snížení nákladů na údržbu. Studie [6] ukázaly, že za jeden rok dojde na úseku o délce jedna míle ke ztrátě jedné tuny agregátu jedním vozidlem, které je na daném úseku provozováno každý den. Což je pro komunikaci s ADT 200 ztráta 200 tun materiálu na jedné míli každý rok. Takže je jasné, že snížení prašnosti značně sníží náklady na údržbu. [6]

### 8.7.1 Chloridy

Na stabilizaci se běžně používají chlorid sodný, chlorid hořečnatý nebo chlorid vápenatý. Přimíchávají se do svrchní šterkové vrstvy pro její stabilizaci nebo se nanese na již hotový povrch a tvoří vrstvu, která snižuje prašnost. Dokážou na sebe vázat vlhkost ze vzduchu a tím udržovat povrch vlhký.

### **8.7.2 Pryskyřice**

Jedná se o výměšek z rostlin, který je známý také pod lidovým názvem smůla. Pro zlepšení stability povrchu je vhodnější pryskyřici promíchat se svrchní vrstvou.

### **8.7.3 Přírodní jíly**

V některých oblastech je dostatek jílu s vysokou plasticitou, které lze využít pro stabilizaci povrchu. Množství přidávaného jílu musí být pečlivě propočítáváno, protože příliš velké množství může učinit vrstvu neúnosnou. Občas také bývá problém s promícháním se šterkem kvůli jeho vysoké plasticitě.

#### **8.7.3.1 Ropné oleje**

V minulosti byly často používány jako opatření proti prašnosti, ale kvůli velkému obsahu kerosinu a jiných škodlivých látek bylo jeho použití na mnoha místech zakázáno.

### **8.7.4 Portlandský cement**

Je potřeba udělat jeho důkladnou analýzu a podle ní určit vhodné množství, aby bylo dosaženo požadované stability a pevnosti. Portlandský cement je drahý, ale na druhou stranu povrch vydrží mnoho let bez oprav. Omezuje prašnost.

### **8.7.5 Organické neropné oleje**

Jedná se o rostlinné oleje. Mají velmi podobné vlastnosti jako lehké ropné oleje, ale na rozdíl od nich jsou biologicky rozložitelné. Velmi dobře snižují prašnost.

## 8.8 Závěr

Autor ve své bakalářské práci zpracoval stručně problematiku nízkokapacitních vozovek a pomohl tak čtenáři alespoň zčásti získat přehled v oblasti jejich návrhu a údržby, což bylo hlavním cílem práce. Pro její tvorbu byla použita zahraniční literatura, ze které autor čerpal nové informace a seznámil se s osvědčenými postupy, které jsou v zahraničí, na rozdíl od České republiky, zpracované a dohledatelné v dostatečném množství, i rozsahu.

Práce byla rozvržena do několika částí, ve kterých byl postupně objasněn geometrický návrh nízkokapacitních vozovek, obsahující rozhledy, směrová a výšková řešení, dále kritéria návrhu vozovky a návrhové postupy rozdělené podle toho, zda je daná konstrukce vozovky použita z důvodu zvýšení únosnosti nebo pouze pro zlepšení vlastností. V práci je dále vysvětleno, proč je výhodné používat kvalitní materiál, současně je ale věnován v práci dostatečný prostor vysvětlení možných nevýhod a poruch. Poslední část se zabývá údržbou nestmelených krytů nízkokapacitních vozovek.

Právě informace týkající se nestmelených krytů jsou podstatné, protože tyto kryty nejsou v České republice běžné a místní literatura se jim nevěnuje. Zato v zahraničí tvoří vozovky s nestmeleným krytem významnou část komunikací a jejich správný návrh a údržba umožňují bezpečný a plynulý provoz a přitom jsou tyto vozovky úsporné.

## 9 Seznam literatury

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guidelines for geometric design of very low-volume local roads (ADT  $\leq$  400)*. Washington, D.C.: c2001. 94 p. ISBN 1560511664.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets*. 4th ed. Washington, D.C.: c2001. 905 p. ISBN 1560511567.
- [3] U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration. *Manual on uniform traffic control devices: for streets and highways*. Washington, D.C.: c2010. 864 p. ISBN 9781560514732.
- [4] Ministerstvo dopravy ČR. TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. 2004. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/tp%20170.pdf>
- [5] US Forest Service. *Earth and aggregate sufracing design guide for low volume roads*. 1995. 302 p.
- [6] Transportation Dept., Federal Highway Administration. *Gravel Roads Construction and Maintenance Guide*. 2015. 141 p. ISBN: 9780160929915
- [7] ALZUBAIDI, Hossein. *Operation and maintenance of gravel roads*. 1999. 241 p.
- [8] Dept. of Transport for the Committee of State Road Authorities. *The structural design, construction and maintenance of unpaved roads*. Pretoria: 1990. 53 p. ISBN 0908381875.
- [9] KELLER G., SHERAR J.. *Low-volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide*. 2003. 158 p.
- [10] YODER E.J., GADALLAH A.A.. *Design of low volume roads*. 1974. 57 p.
- [11] AASHTO. *Guide for design of pavement structures*. Washington, D.C.: 1993. 620 p. ISBN 1560510552.
- [12] ŠEVELOVÁ, Lenka. *Metodický průvodce návrhem a realizací vozovek nízkokapacitních komunikací: certifikovaná metodika*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. 48 s. ISBN 978-80-7509-261-8.
- [13] <http://www.thejournal.ie/ireland-potholes-roads-worst-795325-Feb2013/> [cit. 2016-05-17]
- [14] <http://wcdpa.com/tech-services/dirt-gravel-low-volume-roads/driveway-washout/> [cit. 2016-05-17]



- [15] FLORIAN A., ŠEVELOVÁ L. *Certifikovaná metodika „Metodický průvodce návrhem a realizací vozovek nízkokapacitních komunikací“ – zkušební poloprovozní úsek komunikace*. 2015. Dostupné z: [http://www.slpkrtiny.cz/download/download/Florian-Sevelova\\_KI\\_2015.pdf](http://www.slpkrtiny.cz/download/download/Florian-Sevelova_KI_2015.pdf)
- [16] <https://cornell.app.box.com/v/clrp-pb-hslvrnys> [cit. 2016-05-20]
- [17] <http://www.roadex.org/e-learning/lessons/permanent-deformation/permanent-deformation-rutting-classification/> [cit. 2016-05-18]
- [18] Ministerstvo zemědělství ČR. *TP:Katalog vozovek polních cest*. 2011. Dostupné z: [http://www.spucr.cz/frontend/webroot/uploads/files/2014/11/katalog\\_vozovek\\_polnich\\_cest\\_cast\\_1465.pdf](http://www.spucr.cz/frontend/webroot/uploads/files/2014/11/katalog_vozovek_polnich_cest_cast_1465.pdf)

## 10 Seznam zkratk

ADT	průměrný denní počet vozidel na komunikaci
d [m]	délka rozhledu pro zastavení
t [s]	reakční doba řidiče
V [km/h]	návrhová rychlost
a [ $\text{m/s}^2$ ]	decelerace
M [m]	šířka bez překážek
R [m]	poloměr směrového oblouku
S [m]	délka rozhledu pro zastavení nebo dosvit světél
e [%]	hodnota příčného sklonu
f	součinitel bočního tření
v [m/s]	rychlost vozidla
g [ $\text{m/s}^2$ ]	gravitační zrychlení
R <sub>min</sub> [m]	minimální poloměr směrového oblouku
e <sub>max</sub> [%]	maximální povolený příčný sklon
f <sub>max</sub>	maximální hodnota součinitele bočního tření
VPC	vertikální bod křivosti
VPI	vertikální bod křížení
VPT	vertikální bod dotyku
L [m]	délka oblouku
A [%]	absolutní hodnota změny podélných sklonů
h <sub>1</sub> [m]	výška očí nad vozovkou
h <sub>2</sub> [m]	výška překážky
K	křivost paraboly
L <sub>min</sub> [m]	minimální délka výškového oblouku
CBR [%]	kalifornský poměr únosnosti
RD [palec]	hloubka vyjetých kolejí
R	počet opakování zatížení 18000lb jednonápravou s tlakem v pneumatikách 80 psi
t [palec]	tloušťka krytu
C <sub>1</sub> [%]	CBR krytu
C <sub>2</sub> [%]	CBR zeminy v podloží

## 11 Seznam obrázků

Obrázek 1 - směrový oblouk [1] .....	21
Obrázek 2 - rozhledové trojúhelníky pro „Dej přednost v jízdě“ [2] .....	22
Obrázek 3 - rozhledové trojúhelníky pro „Stůj, dej přednost v jízdě“ [2] .....	22
Obrázek 4 - vrcholový oblouk [2] .....	26
Obrázek 5 - údolnicový oblouk [2] .....	28
Obrázek 6 - varovné dopravní značky [3] .....	29
Obrázek 7 - dopravní značení pro železniční přejezdy [3] .....	30
Obrázek 8 - dočasné dopravní značení [3] .....	30
Obrázek 9 - běžně používané skladby nízkokapacitních vozovek [9] .....	36
Obrázek 10 - zvlněný povrch [6] .....	39
Obrázek 11 - výtluky [13] .....	41
Obrázek 12 - vyjeté koleje [7] .....	42
Obrázek 13 - trhliny [17] .....	43
Obrázek 14 - eroze [14] .....	44
Obrázek 15 - prašnost [Vlastní] .....	45
Obrázek 16 - údržbový proužek [6] .....	47
Obrázek 17 - nastavení grejdru [7] .....	48
Obrázek 18 - křižovatky s úpravou přednosti [6] .....	50
Obrázek 19 - křižovatky bez úpravy přednosti [6] .....	51
Obrázek 20 - křížení s cestou se stmeleným krytem [6] .....	51
Obrázek 21 - klopení vozovky [6] .....	52

## 12 Seznam vztahů

Vztah 1 – délka rozhledu pro zastavení.....	20
Vztah 2 – šířka bez překážek.....	20
Vztah 3 – vztahy mezi návrhovými parametry .....	23
Vztah 4 – součinitel bočního tření.....	24
Vztah 5 – minimální poloměr směrového oblouku .....	24
Vztah 6 – minimální délka vrcholového oblouku pro $S < L$ .....	27
Vztah 7 – minimální délka vrcholového oblouku pro $S > L$ .....	27
Vztah 8 – křivost paraboly .....	27
Vztah 9 – minimální délka vrcholového oblouku pro velmi malé $A$ .....	27
Vztah 10 – minimální délka údolnicového oblouku pro $S < L$ .....	28
Vztah 11 – minimální délka údolnicového oblouku pro $S > L$ .....	28
Vztah 12 – výpočet tloušťky krytu vozovky .....	34
Vztah 13 – tloušťka krytu pro maximální deformaci 2 palce.....	35

### **13 Seznam grafů a tabulek**

Graf 1 – závislost průměrných ročních nákladů na ADT [10] .....	31
Graf 2 – test šterkové vrstvy [6] .....	38
Tab. 1 – minimální návrhové rychlosti pro nízkokapacitní vozovky [16] .....	18